

明 細 書

仮想視点画像生成方法及び3次元画像表示方法並びに装置

技術分野

- [0001] 本発明は、複数枚の画像から物体の3次元形状に関する情報を推定し、その情報を用いて画像を生成する技術に関するものである。本発明の技術は、例えば、テレビ電話等の視覚的なコミュニケーションを支援するシステムに適用できる。

背景技術

- [0002] 従来から、コンピュータグラフィックス(CG;Computer Graphics)やバーチャルリアリティ(VR;Virtual Reality)の分野では、カメラが設置された視点位置からだけでなく、利用者が望む視点位置から見た被写体の画像をコンピュータにより生成する技術が盛んに研究されている。
- [0003] 例えば、異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を用いて、被写体の3次元像を表示する、あるいは被写体を仮想的な視点から見た画像(以下、仮想視点画像という)を生成する方法がある。
- [0004] 物体の3次元像を表示する方法としては、例えば、DFD(Depth-Fused 3-D)ディスプレイのように、複数枚の画像表示面を持つディスプレイを用いる方法がある。前記DFDは、複数枚の画像表示面を、ある間隔で重ね合わせたディスプレイである(例えば、文献1:特許第3022558号公報を参照)。また、前記DFDには、大きく分けて、輝度変調型と透過型がある。
- [0005] 前記DFDに前記物体の画像を表示するときには、例えば、表示する物体の2次元画像を各画像表示面に表示する。このとき、前記DFDが輝度変調型であれば、前記各表示面上の、あらかじめ設定された観察者の視点(基準視点)から見て重なる画素の輝度を、前記物体の奥行き方向の形状に応じた割合に設定して表示する。こうすると、前記物体上のある点は、観察者から見て手前にある画像表示面の画素の輝度が大きくなり、また別の点は、観察者から見て奥の表示面の画素の輝度が大きくなる。その結果、前記DFDの各画像表示面に表示される画像を観察する観察者は、前記物体の立体的な画像(3次元像)を観察することができる。

- [0006] また、前記DFDが透過型であれば、前記各画像表示面上の、あらかじめ設定された観察者の視点(基準視点)から見て重なる画素の透過度を、前記物体の奥行き方向の形状に応じた割合に設定して表示する。
- [0007] また、前記物体の3次元像を表示する方法としては、前記DFDを用いた表示方法の他に、例えば、観察者の左右の眼の間隔に相当する視差を有する2枚の画像を、液晶ディスプレイ等の1枚の画面上に表示する方法もある。
- [0008] このような、物体の3次元像を表示するための画像や任意の視点から見た前記物体の画像を生成するときに、前記物体の3次元形状が、例えば、コンピュータ・グラフィックス等で生成されていて既知である場合は、そのモデルを用いて前記各画像を生成すればよい。一方、前記物体の3次元形状が既知でない場合は、前記各画像を生成する前に、前記物体の3次元形状、すなわち、幾何学的なモデルを取得しなければならない。
- [0009] また、前記複数枚の画像を用いて前記仮想視点画像を生成するときにも、まず、前記複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る必要がある。このとき、得られた前記被写体の幾何学的なモデルは、例えば、ポリゴンやボクセルと呼ばれる基本図形の集まりとして表現される。
- [0010] 前記複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法は様々であり、コンピュータ・ビジョンの分野において、Shape from X として数多くの研究がなされている。前記 Shape from X において代表的なモデル取得方法は、ステレオ法である(例えば、文献2:「Takeo Kanade et al.: "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes," IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-37, 1997」を参照。)。
- [0011] 前記ステレオ法では、異なる視点から被写体を撮影した複数枚の画像をもとにして、前記被写体の幾何学的なモデルを得る。このとき、モデルを取得するための基準視点から前記被写体上の各点までの距離は、例えば、対応点マッチング、すなわち各画像上の点(画素)の対応付けを行い、三角測量の原理で求める。ただしこのとき、前記ステレオ法で即座に前記被写体の幾何学的なモデルが得られるわけではなく、得られるのは被写体表面の点群である。そのため、前記被写体の幾何学的なモデル

ルを得るには、前記点群に含まれる各点同士がどのように繋がり、どのような面を構成するかという構造情報を決定する必要がある(例えば、文献3:「池内克史:”画像による実物体のモデル作成”, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.763-766, 1998」を参照)。

[0012] つまり、前記ステレオ法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法では、画像を生成する装置(計算機)で、前記被写体の形状の当てはめや統計処理等の複雑な処理を行わなければならない。そのため、高い計算機パワーが必要となる。

[0013] また、複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法には、前記ステレオ法とならぶ代表的なモデル取得方法として、複数の視点で撮影した各画像の被写体の輪郭をもとにして、空間中で前記被写体が占める領域を決める Shape from Silhouette と呼ばれる方法(以下、Shape from Silhouette 法という)がある(例えば、文献4:「Potmesil, M:”Generating Octree Models of 3D Objects from their Silhouettes in a Sequence of Images,” CVGIP 40, pp.1-29, 1987」を参照)。

[0014] 前記 Shape from Silhouette 法で得られる前記被写体の幾何学的なモデルは、ボクセルと呼ばれる微小な立方体の集まりとして表現されることが多い。しかしながら、前記被写体の幾何学的なモデルを前記ボクセルで表現する場合、前記被写体の3次元形状を表現するために必要なデータ量が膨大な量になる。そのため、前記 Shape from Silhouette 法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得るには、高い計算機パワーが要求される。

[0015] そこで近年、前記ステレオ法や前記 Shape from Silhouette 法のように前記被写体の幾何学的なモデルをポリゴンやボクセル等で表現する代わりに、例えば、前記被写体の部分的な画像を多層構造の投影面にテクスチャマッピングし、前記被写体の3次元的な形状を多層平面で表現する方法が提案されている(例えば、文献5「Jonathan Shade et al.:”Layered Depth Images,” SIGGRAPH98 Conference Proceedings, pp.231-242, 1998」、文献6「多湖, 新田, 苗村, 原島:”動的レイヤ表現を用いたVideo-Based Rendering”, 3次元画像コンファレンス2001, pp.33-36, 2001」を参照)。

[0016] 前記テクスチャマッピングは、多層構造の投影面を設定し、前記撮影した画像から

切り取った部分的な画像(テクスチャ画像)を、そのテクスチャ画像に写っている物体の距離に対応する投影面に貼り合わせて、立体的な視覚効果を得る方法である。そのため、一般に普及しているパーソナル・コンピュータに搭載されているグラフィックス・ハードウェアでも、十分に高速な処理を行うことができるとともに、データの扱いが容易であるという利点がある。

- [0017] しかしその一方、前記テクスチャマッピングによる多層平面で前記被写体の幾何学的なモデルを表現する場合、前記投影面の設定間隔が広すぎると、前記被写体の詳細な形状を表現することができない。そのため、大まかな形状は投影面(平面)で表現し、微細な形状については、前記テクスチャ画像の画素毎に、例えば、R(赤), G(緑), B(青)の色情報に加えて、もう1つの値(デプス値)を持たせるような工夫がなされている。前記文献5では、各テクスチャ画像の画素の位置を前記デプス値に応じて変化させて、前記多層平面だけでは表現しきれない微細な奥行きを表現する方法が提案されている。また、前記文献6では、前記デプス値に応じて、各画素の透明度を設定して、前記多層平面だけでは表現しきれない微細な奥行きを表現する方法が提案されている。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0018] しかしながら、被写体の幾何学的なモデルを得る方法のうち、前記ステレオ法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法では、前記被写体の形状や表面の模様(テクスチャ)、前記被写体周辺の環境の影響を受けやすく、どのような形状の被写体でも、そして前記被写体上のどの点でも信頼性の高い距離情報を得られるとは限らない(例えば、文献7:「奥富正敏:“ステレオがなぜ難しいか”, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.39-43, 1998」を参照。)。
- [0019] 前記被写体の距離を推定するときに、その推定の信頼性が低いと、誤った距離を推定してしまうことがある。距離の推定を誤った場合、前記被写体の幾何学的なモデルを用いて生成した仮想視点画像は、例えば、前記距離の推定を誤った箇所に不連続なノイズが現れる。そのため、前記仮想視点画像は、例えば、図1に示すように、被写体7の一部に欠損領域7Bが生じているように見える。

- [0020] また、前記 Shape from Silhouette 法は、原理的に、前記被写体が凸形状であることを仮定して前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法である。そのため、前記被写体が全体的あるいは部分的に凹形状であると、前記被写体の正しいモデルを取得することができないという問題がある。
- [0021] また、前記 Shape from Silhouette 法は、画像上の背景と前記被写体の輪郭を正確に抽出すること自体が難しく、正確に抽出する方法については、現在でもコンピュータ・ビジョン分野における主要な研究課題となっている。つまり、前記 Shape from Silhouette法で得られる前記被写体の幾何学的なモデルは、不正確な輪郭から得られるモデルであり、その信頼性は十分に高いとはいえない。そのため、前記 Shape from Silhouette 法で得られた前記被写体の幾何学的なモデルから生成される画像は、十分に満足できる画質ではないという問題がある。
- [0022] また、前記テクスチャマッピングのように前記被写体の3次元的な形状を多層平面で表現する方法は、各テクスチャ画素に与える前記デプス値が既知である、すなわち前記被写体の形状が正確に求められていることを前提にしている。そのため、前記物体の形状が既知でない場合は、まず、前記被写体の幾何学的なモデルを取得しなければならない。その結果、前記被写体の形状を推定したときに信頼性が低い箇所があると、前記テクスチャ画像を誤った投影面に貼り付けてしまうことがあり、生成した画像が著しく劣化することがあるという問題がある。
- [0023] また、前記テクスチャマッピングにより前記被写体の3次元的な形状を表現する方法では、前記多層構造の投影面に画像を貼り付ける処理は高速であるが、前記デプス値を求める処理において前記被写体の形状を正確に求めようとすると、高い処理能力が必要になる。
- [0024] 以上説明したように、従来技術では、前記被写体の形状を推定するときに、その推定の信頼性が低い箇所があると、距離の推定を誤りやすく、生成した画像上に不連続なノイズが生じて画質が低下しやすいという問題があった。
- [0025] また、前記被写体の形状の推定の誤りによる画質の低下を防ぐためには、推定の信頼性が高くなるようにすればよいが、そのためには、多数の画像を用い、厳密な計算処理を行って、前記被写体の正確な幾何学的なモデルを得なければならない。し

かしながら、その場合、仮想視点画像等を生成する装置に高い処理性能(計算機パワー)が必要である。そのため、一般に普及しているパーソナル・コンピュータ等では、画質の劣化が少ない仮想視点画像を高速で生成することが難しいという問題もあった。

- [0026] また、被写体の幾何学的なモデルの信頼性を高くするためには、より多くの視点から撮影した画像が必要になる。そのため、撮影装置が大型化し、装置構成が複雑化するという問題もあった。
- [0027] 本発明の目的は、複数枚の画像から被写体の3次元的な形状を取得して被写体の画像を生成するときに、被写体の形状の推定の信頼性が低い部分で生じる著しい画質の劣化を低減することが可能な技術を提供することにある。
- [0028] 本発明の他の目的は、複数枚の画像から被写体の3次元的な形状を取得して被写体の画像を生成するときに、処理性能が低い装置でも、部分的な画質の劣化が少なく、かつ、短時間で画像を生成することが可能な技術を提供することにある。
- [0029] 本発明の他の目的は、被写体の幾何学的なモデルを得るために用いる画像を撮影する撮影装置の小型化し、装置構成を簡素化が可能な技術を提供することにある。
- [0030] 本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

課題を解決するための手段

- [0031] 上記の課題を解決するために、本発明は、複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置である仮想視点を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに、前記視点から被写体を見たときの画像である仮想視点画像を生成するステップとを有する仮想視点画像生成方法において、前記仮想視点画像を生成するステップは、多層構造をもつ投影面を設定するステップ1と、前記投影面上の各投影点と対応する、前記各被写体の画像上の対応点を求めるステップ2と、複数の対応点の色情報または輝度情報に基づいて前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップ3と、空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前

記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ4と、前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報または輝度情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報または輝度情報を決定するステップ5と、前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ1からステップ5までを繰り返し行うステップ6とを有することを特徴とする仮想視点画像生成方法として構成できる。

[0032] また、本発明の画像生成方法は、複数の異なる視点から被写体を撮影した画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点間の相関度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度に基づいて、前記各投影点に物体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、前記相関度を算出するステップは、前記複数の視点の中から選んだいくつかの視点の組み合わせであるカメラセットを複数組用意するステップと、前記各カメラセットに含まれる画像上の対応点から相関度を求めるステップとを有し、前記存在確率を決定するステップは、前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出するステップと、前記カメラセット毎に決定した存在確率の統合処理をして前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有するものとして構成することもできる。

[0033] また、本発明は、合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点である仮想視点を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップ

と、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した各画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定することを特徴とする画像生成方法として構成することもできる。

- [0034] また、本発明は、異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、前記存在確率を決定するステップは、前記対応点の画像情報から前記各投影点の評価基準値を算出するステップと、前記各投影点の評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする画像生成方法として構成することもできる。

[0035] また、本発明は、異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを有する3次元画像表示方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点である表示点の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成し、前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示することを特徴とする3次元画像表示方法として構成することもできる。

発明の効果

[0036] 本発明によれば、複数枚の画像から被写体の3次元的な形状を取得して被写体の画像を生成するときに、被写体の形状の推定の信頼性が低い部分で生じる著しい画質の劣化を低減することが可能となる。また、処理性能が低い装置でも、部分的な画質の劣化が少なく、かつ、短時間で画像を生成することが可能となる。更に、被写体の幾何学的なモデルを得るために用いる画像を撮影する撮影装置の小型化し、装置構成を簡素化が可能となる。

図面の簡単な説明

[0037] [図1]従来の仮想視点画像の問題点を説明するための図である。

[図2]第1の実施の形態における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模

式図であり、投影面群、カメラ、基準視点、投影点、対応点の一例を示す図である。

[図3]第1の実施の形態における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図である。

[図4]第1の実施の形態における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の透明度に応じた混合処理の一例を示す図である。

[図5]第1の実施の形態における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、被写体、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

[図6]実施例1-1の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置内部の構成を示すブロック図である。

[図7]実施例1-1の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置を用いたシステムの構成例を示す図である。

[図8]実施例1-1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数値モデルを説明するための模式図であり、投影変換の一例を示す図である。

[図9]実施例1-1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数値モデルを説明するための模式図であり、座標変換の一例を示す図である。

[図10]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、生成処理全体のフロー図である。

[図11]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、仮想視点画像を生成するステップの具体的なフロー図である。

[図12]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

[図13]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、投影点、投影点列、投影点列の集合の一例を示す図である。

[図14]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、色情報の混合処理を説明するための基準視点、投影点、カメラ位置によりなす角度の一例を示す図である。

[図15]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり

、対応点マッチング処理の一例を示す図である。

[図16]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、レンダリング処理を説明するための図である。

[図17]実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、生成された仮想視点画像の一例を示す図である。

[図18]実施例1-1の仮想視点画像生成装置を適用したシステムの応用例を示す模式図である。

[図19](a)は実施例1-2の特徴となる処理を示すフロー図であり、(b)は透明度情報を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図20]実施例1-3の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

[図21]第2の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、生成方法の概念を説明する図である。

[図22]第2の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図21を2次元的に表現した図である。

[図23]対応点の相関度の求め方を説明する図である。

[図24]対応点の相関度を求めるときに問題となる点を説明する図である。

[図25]第2の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、相関度を求めるときの問題を解決する方法を説明する図である。

[図26]存在確率の精度を向上させる方法の一例を説明する図である。

[図27]第2の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図である。

[図28]第2の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図である。

[図29]実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図30]実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図29における投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図である。

[図31]実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図30における

存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図である。

[図32]実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、カメラセットの設定例を示す図である。

[図33]実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面の情報を表示面の情報に変換する方法を説明する図である。

[図34]投影面の情報を表示面の情報に変換する方法を説明する図である。

[図35]実施例2-1の画像生成方法を適用した画像生成装置の構成例を示すブロック図である。

[図36]実施例2-1の画像生成方法を適用した画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

[図37]実施例2-1の画像生成方法を適用した画像生成装置を用いた画像表示システムの他の構成例を示す図である。

[図38]実施例2-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図39]実施例2-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、レンダリングの原理を説明する図である。

[図40]実施例2-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、本実施例2の画像生成方法で問題となる点を説明する図である。

[図41]実施例2-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、本実施例2の画像生成方法で問題となる点の解決方法を説明する図である。

[図42]実施例2-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率を透明度に変換する処理手順の一例を示すフロー図である。

[図43]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影面及び基準視点の設定例を示す図である。

[図44]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影面及び基準視点の設定例を示す図である。

[図45]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び合焦点度の決定方法を説明する図である。

[図46]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

[図47]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

[図48]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

[図49]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、仮想視点から見た画像の生成方法を説明する図である。

[図50]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、本発明の画像生成方法において問題となる点を説明する図である。

[図51]第3の実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、本発明の画像生成方法において問題となる点を解決する方法を説明する図である。

[図52]第3の実施の形態の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、投影点、対応点、生成する画像上の点の関係を示す図である。

[図53]第3の実施の形態の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、空間上の点と画像上の画素の変換方法を説明する図である。

[図54]実施例3-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、画像の生成手順を示すフロー図である。

[図55]実施例3-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点列の設定方法を説明する図である。

[図56]実施例3-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図54のステップ10305の処理の具体例を示すフロー図である。

[図57]実施例3-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、レンダリングの方法を説明する図である。

[図58]実施例3-1の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、装置の構成を示すブロック図である。

[図59]実施例3-1における被写体画像撮影手段の構成例を説明する図である。

[図60]実施例3-1における被写体画像撮影手段の構成例を説明する図である。

[図61]実施例3-1における被写体画像撮影手段の構成例を説明する図である。

[図62]実施例3-1の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、画像生成システムの一構成例を示す図である。

[図63]実施例3-1の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、画像生成システムの他の構成例を示す図である。

[図64]実施例3-2の仮想視点画像生成方法の処理を示すフロー図である。

[図65]第3の実施の形態の画像生成方法における、他の生成方法を説明するための模式図である。

[図66]第3の実施の形態による実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図67]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

[図68]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

[図69]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点列の設定方法を説明する図である。

[図70]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図である。

[図71]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図72]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図73]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図74]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図75]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図76]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図77]実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図78]実施例4-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点と対応点の関係を示す図である。

[図79]実施例4-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図である。

[図80]実施例4-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

[図81]実施例4-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

[図82]実施例4-3の任意視点画像生成方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図83]実施例4-3の任意視点画像生成方法を説明するための模式図であり、レンダリングの原理を説明する図である。

[図84]実施例4-3において存在確率を透明度に変換する処理手順の一例を示すフロー図である。

[図85]実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図である。

[図86]実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図である。

[図87]実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

[図88]実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

[図89]実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

[図90]第5の実施の形態による実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[図91]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

[図92]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

[図93]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の設定方法を説明する図である。

[図94]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図である。

[図95]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図96]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図97]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

[図98]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図99]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図100]実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[図101]実施例5-2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点と対応点の関係を示す図である。

[図102]実施例5-2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図である。

[図103]実施例5-2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

[図104]実施例5-2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

符号の説明

[0038] (第1の実施の形態)

1, 1A, 1B, 1C…仮想視点画像生成装置、101…仮想視点決定手段、102…被写体画像取得手段、103…画像生成手段、103a…投影面決定手段、103b…基準視点決定手段、103c…テクスチャ配列確保手段、103d…対応点マッチング処理手段、103e…色情報決定手段、103f…存在確率情報決定手段、103g…レンダリング手段、104…生成画像出力手段、2…視点位置入力手段、3…被写体撮影手段(カメラ)、4…画像表示手段、6…仮想視点画像、7…被写体の像、7A…画像が劣化している部分、7B…画像が欠損している部分。

(第2の実施の形態)

6, 6A, 6B, 6C…画像生成装置、601…被写体画像取得手段、602…観察者視点設定手段、603…投影面設定手段、604…投影面情報格納領域確保手段、605…色情報／存在確率決定手段、606…投影面情報－表示面情報変換手段、607…画像出力手段、7, 7A, 7B…画像表示手段、8, 8A, 8B…被写体画像撮影手段、9, 9A, 9B…基準視点入力手段

(第3の実施の形態)

2, 2A, 2B, 2C…画像生成装置、201…被写体画像取得手段、202…仮想視点設定手段、203…投影面等設定手段、204…テクスチャ配列確保手段、205…色情報／存在確率決定手段、206…レンダリング手段、207…生成画像出力手段、3, 3A, 3B…被写体画像撮影手段、4, 4A, 4B…視点情報入力手段、5, 5A, 5B…画像表示手段、6…偏光型二値光学系、7, 7A, 7B…イメージセンサ、8…ビームスプリッタ、9…偏光フィルタ、10…可変焦点レンズ、11a, 11b, 11c, 11d…固定焦点レンズ、12…レンズホルダ

(第4の実施の形態)

2, 2A, 2B, 2C…画像生成装置、201…被写体画像取得手段、202…観察者視点設定手段、203…投影面等設定手段、204…テクスチャ配列確保手段、205…色情報／存在確率決定手段、206…投影面情報－表示面情報変換手段、207…画像出力手段、208…レンダリング手段、3, 3A, 3B…画像表示手段、4, 4A, 4B…被

写体画像撮影手段、5, 5A, 5B…基準視点入力手段
(第5の実施の形態)

2, 2A, 2B, 2C…3次元画像生成装置、201…被写体画像取得手段、202…観察者視点設定手段、203…投影面等設定手段、204…テクスチャ配列確保手段、205…色情報／存在確率決定手段、206…投影面情報一表示面情報変換手段、207…画像出力手段、3, 3A, 3B…画像表示手段、4, 4A, 4B…被写体画像撮影手段、5, 5A, 5B…基準視点入力手段

発明を実施するための最良の形態

[0039] 以下、発明を実施するための最良の形態として、第1の実施の形態～第5の実施の形態について説明する。

[0040] [第1の実施の形態]

まず、本発明の第1の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態は、主に請求項1～請求項11に対応する実施の形態である。本実施の形態では、色情報の表現として赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いる例を示しているが、輝度(Y)もしくは色差(U, V)を用いた表現をとることも可能であり、また白黒画像の場合には色情報として輝度情報のみを用いることが可能である。なお、第1の実施の形態を説明するための図において、同一機能を有するものは、同一符号を付ける。

[0041] 第1の実施の形態における各実施例を説明する前に、まず、第1の実施の形態における仮想視点画像生成方法の原理について説明する。

[0042] 図2乃至図5は、本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図2は投影面群、カメラ、基準視点、投影点、対応点の一例を示す図、図3(a)及び図3(b)は対応点間の相関度のグラフの一例を示す図、図4(a)は投影点の透明度に応じた混合処理の一例を示す図、図4(b)は透明度に応じた色情報の混合処理を色空間において表現した図、図5は被写体、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

[0043] 本発明における仮想視点画像の生成方法は、多層構造をもつ投影面群を設定するステップ1と、投影面上の各点(投影点)に対応する複数のカメラの撮影画像上での点(対応点)を求めるステップ2と、複数の対応点の色情報を混合もしくはそのうち

の1つを選択することで投影点の色情報を決定するステップ3と、空間上のある視点(基準視点)から見て重なり合う複数の投影点について、各投影点の距離に被写体が存在する可能性の度合い(存在確率情報)を対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いをもとに計算するステップ4と、仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報を存在確率情報に応じた混合処理をして仮想視点における各画素の色情報を決定するステップ5と、仮想視点画像の画素に相当するすべての点について前記ステップ1からステップ5を繰り返し行うステップ6とを有する。すなわち、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所では被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。

- [0044] ここで推定の信頼性は、撮影した画像の対応点の相関の程度(相関度)によって以下のように判別される。例えば、図2に示すように、基準視点 R 、カメラの中心位置 C_i ($i=1,2,\dots,N$)、互いに平行な投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)を設定し、投影点 T_j を中心位置 C_i のカメラで撮影した対応点を G_{ij} とする。
- [0045] すると、例えば、投影面 L_m 上にある投影点 T_m について対応点の集合 $\{G_{im} \mid i=1,2,\dots,N\}$ が得られ、それらの相関の程度(相関度)も計算できる。
- [0046] ここで、基準視点 R から見て直線上にある複数の投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)について相関度を計算し、横軸に基準視点 R と投影面の距離 l 、縦軸に相関度をとると、図3(a)あるいは図3(b)に示すようなグラフが得られる。相関度の具体的な計算方法については後の実施例で述べることとし、ここでは相関度が大きいほど対応点間の相関の程度が大きいものとして図示する。
- [0047] 相関度が高い距離では複数のカメラにおける対応点は類似しており、投影点の位置で被写体上の同じ点を撮影している可能性が高いため、その距離に被写体が存在する可能性も高い。そして、基準視点 R を通る直線上で被写体が存在する距離が1つであると仮定すれば、図3(a)及び図3(b)に示したように、最も高い相関度をとる

距離 $l=l^*$ に被写体が存在すると推定できる。

- [0048] このとき、図3(a)に示したように、距離 $l=l^*$ における対応点の相関度が他の候補よりも非常に高い場合には信頼性の高い推定ができるが、図3(b)に示した、距離 $l=l^*$ と距離 $l=l'$ のように推定値の候補が複数あり、かつその対応点の相関度が同程度の場合には推定の信頼性が低くなる。
- [0049] 図3(b)に示したような場合に、相関度が最も高い距離 $l=l^*$ に相当する投影点を1点だけ描画する方法をとると、推定の誤りにより、実際には被写体が距離 $l=l'$ にあった場合、生成画像に大きなノイズとなって現れてしまう。
- [0050] それに対し、本発明では相関度から被写体の存在する可能性(存在確率情報)を計算し、存在確率情報に応じた明瞭さで複数の投影点を描画することで、推定の信頼性が低い場合には複数の投影点が曖昧に描画され、生成画像のノイズが目立たず、観察者の見た目にはより良好な画像を生成する効果がある。
- [0051] 一方、推定の信頼性が高い場合には存在確率情報が高い投影点が明瞭に描画されるため、より良好な画像を生成することが可能である。
- [0052] また、本発明の描画手法はコンピュータグラフィックスの基本的な手法であるテクスチャマッピングによりシンプルに実装でき、普及型のパーソナルコンピュータに搭載している3次元グラフィックスハードウェアで良好に処理できるほど計算機負荷が軽くなる効果がある。
- [0053] また、本発明による仮想視点画像生成方法では、投影面上の各基準点は透過から不透過までの階調を持つ透明度を有し、各基準点における透明度は上記ステップ4で得られる存在確率情報を変換することにより計算され、上記ステップ5で仮想視点における各点の色情報を得るための混合処理は仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理され、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを透明度に応じた比率で内分して得る。このとき、混合処理により得られる色情報は、ある段階での色情報とその次の色情報の内分である。
- [0054] ここで、例えば、図4(a)に示すように、投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)、投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)、赤、緑、青(R, G, B)の成分を持ち、投影点の色情報を表すベクトル K_j ($j=1,2,$

...,M)が、下記数式1で表される色空間に設定されている場合を考える。

[0055] [数1]

$$K_j \in V, V \equiv \{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 1, 0 \leq G \leq 1, 0 \leq B \leq 1\}$$

また、投影点の透明度 α_j ($j=1,2,\dots,M$) は、下記数式2となるように設定されているものとする。

[0056] [数2]

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

このとき、 $j=m$ までの混合処理で得られる色情報 D_m は、下記数式3及び数式4のような漸化式で表され、仮想視点から見一番手前の $j=M$ まで混合処理した色情報 D_M が仮想視点における色情報となる。

[0057] [数3]

$$D_m = \alpha_m K_m + (1 - \alpha_m) D_{m-1}$$

[0058] [数4]

$$D_1 = \alpha_1 K_1$$

このとき、前記数式2及び数式3の関係より、色情報 D_m は色空間 V において K_m と D_{m-1} の内分点であるため、図4(b)に示すように、 $K_m, D_{m-1} \in V$ ならば $D_m \in V$ である。

[0059] すると、前記数式1及び数式2の条件を満たせば、仮想視点における色情報 D_M に

ついて、下記数式5のようになることが保証される。

[0060] [数5]

$$D_M \in V$$

前記数式5のような保証は、数学的帰納法により証明されるが、詳細な説明は省略する。

[0061] つまり、投影点の色情報及び透明度を前記数式1及び数式2を満たすように設定すれば、仮想視点の色情報は必ず適切な色空間Vに納めることができる。

[0062] 以上のような特徴により、同一の被写体において複数の仮想視点画像を生成する場合に、ある1つの基準視点から投影点の色情報と透明度情報を計算したとしても、その色情報及び透明度が前記数式1及び数式2を満たせば、すべての仮想視点画像で適切な色情報の範囲で画像を生成することができる。

[0063] ここで、例えば、図5に示すように、被写体Objがあり、2つの投影面 L_1 、 L_2 、基準視点R、仮想視点Pを設定した場合において、投影点 T_1 、 T_2 、 T_1' 、 T_2' における色情報がそれぞれ K_1 、 K_2 、 K_1' 、 K_2' 、被写体が存在する可能性の度合いが β_1 、 β_2 、 β_1' 、 β_2' である場合を考える。

[0064] 前記被写体が存在する可能性の度合い(存在可能性情報)は、基準視点Rを通る直線上で計算され、同一直線上の投影点における存在可能性情報の合計は1となり、投影点 T_1' 及び T_2' 付近に被写体の表面が存在するため、この点での存在可能性情報は T_1 及び T_2 に比べて高くなる。すると、前記存在可能性情報は、下記数式6及び数式7のようになる。

[0065] [数6]

$$\beta_1 \cong 0, \quad \beta_2 \cong 1$$

[0066] [数7]

$$\beta'_1 \cong 1, \quad \beta'_2 \cong 0$$

このとき、仮想視点Pの画像面の点Aにおける色情報 K_A は直線PA上にある投影点の色情報を存在可能性情報に応じた重み付けで加算することで計算され、下記数式8のようになる。

[0067] [数8]

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta'_2 K_2$$

また、前記数式8は、前記数式6及び数式7により、下記数式9のように表される。

[0068] [数9]

$$K_A \doteq K'_1 + K_2$$

仮想視点Pから見たときに、 T'_A は T_A により遮蔽されているため、点Aにおける本来の色情報は $K_A = K_2$ であるが、前記数式9では K'_1 の分だけ(R, G, B)の各成分の輝度が上がってしまう。

[0069] また、 K_A 及び K'_A の各成分が大きな輝度を持つ場合には、 K_A は有効な色空間の範囲を超えてしまう。そのため、有効な色情報の範囲内に収まるようにクリッピング処理が必要となる。

[0070] そこで、例えば、後の実施例1-2で述べる計算方法により存在確率情報から透明度を求めると、下記数式10及び数式11と計算される。

[0071] [数10]

$$\alpha_2 = \beta_2, \quad \alpha_1 = 1$$

[0072] [数11]

$$\alpha'_2 = \beta'_2, \quad \alpha'_1 = 1$$

ただし、前記数式10及び数式11において、 α_1 , α_2 , α'_1 , α'_2 はそれぞれ T_1 , T_2 , T'_1 , T'_2 における透明度である。

[0073] ここで、仮想視点における各点の色情報を得るために、仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に混合処理し、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを透明度に応じた比率で内分して得るようにすると、 K_A は、下記数式12のようになる。

[0074] [数12]

$$K_A = \alpha_2 K_2 + (1 - \alpha_2) \alpha'_1 K'_1$$

このとき、前記数式12は、前記数式6、数式7、数式10、数式11から下記数式13のようになり、本来の色情報のよい近似となる。

[0075] [数13]

$$K_A \doteq K_2$$

以上で述べたとおり、存在確率情報をそのまま用いた画像生成では、基準視点と

仮想視点が同一である場合には問題ないものの、両者が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。

[0076] また、存在確率情報をそのまま用いる画像生成において基準視点と仮想視点が異なる場合には、後に示す数式を用いた演算で色情報を計算した場合に有効な色情報の範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、透明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。

[0077] また、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

[0078] また、本発明の仮想視点画像生成方法では、ステップ1においてカメラ毎に固有の投影面群を設定し、ステップ3において投影点の色情報は、投影点が属する投影面に固有のカメラによる撮影画像の対応点の色情報を用い、ステップ4における存在確率情報は、投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算され、ステップ5における仮想視点の色情報の混合処理は、仮想視点と各基準視点との位置関係により補正する。このようにすると、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定するため、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

[0079] また、前記カメラ毎に固有の投影面群を設定した場合、投影面の色情報に関して是对応するカメラで撮影した画像間での混合処理が必要ない。そのため、例えば、計算機(コンピュータ)で処理する際に並列処理が可能であり、画像生成の高速化が可能である。

[0080] また、同じカメラに対応付けされている投影面群の色情報はすべて同じであるため、計算機(コンピュータ)で処理する際に、色情報を格納するテクスチャメモリを共有できる。そのため、投影面の数ほどはメモリを消費することがなく、画像生成に用いる装置の負荷を低減することができる。

[0081] また、ある投影面に対応するカメラは一意に決定されているため、両者の座標の対

応関係をあらかじめ設定しておくことで、レンズの歪曲収差の補正などのキャリブレーションを容易にかつ高速に行うことができる。

[0082] よって、本発明の第1の実施の形態の仮想視点画像生成方法を専用の装置、普及型のパーソナルコンピュータ等で実行させるプログラムは広い適用範囲と高い汎用性を持つ。

[0083] 以下、第1の実施の形態の仮想視点画像生成方法を実行する装置及び具体的な画像生成方法を、実施例を挙げて説明する。

[0084] (実施例1-1)

図6及び図7は、本発明による実施例1-1の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、図6は画像生成装置内部の構成を示すブロック図、図7は画像生成装置を用いたシステムの構成例を示す図である。

[0085] 図6において、1は仮想視点画像生成装置、101は仮想視点決定手段、102は被写体画像取得手段、103は画像生成手段、103aは投影面決定手段、103bは基準視点決定手段、103cはテクスチャ配列確保手段、103dは対応点マッチング処理手段、103eは色情報決定手段、103fは存在確率情報決定手段、103gはレンダリング手段、104は生成画像出力手段、2は視点位置入力手段、3は被写体撮影手段、4は画像表示手段である。また、図7において、Userは仮想視点画像生成装置の利用者、Objは被写体である。

[0086] 本実施例1-1の仮想視点画像生成装置1は、図6及び図7に示すように、利用者Userが視点位置入力手段2を用いて入力した視点(仮想視点)のパラメータを決定する仮想視点決定手段101と、複数の視点位置C_iにある被写体撮影手段(カメラ)3で撮影された被写体Objの画像を取得する被写体画像取得手段102と、前記取得した被写体Objの画像をもとに、前記仮想視点から前記被写体Objを見たときの画像(仮想視点画像)を生成する画像生成手段103と、前記画像生成手段103で生成した仮想視点画像を画像表示手段4に表示させるための生成画像出力手段104とにより構成される。

[0087] 仮想視点決定手段101では、前記仮想視点のパラメータとして、例えば、位置、方向、画角を決定する。また、前記視点位置入力手段2は、例えば、図7に示したように

、マウス等の利用者Userが操作して選択するデバイスであってもよいし、キーボード等の利用者Userが直接数値として入力するデバイスでもよいし、前記利用者Userが装着する位置・姿勢検出センサでもよい。また、他のプログラムにより与えられるものでも、ネットワークを介して与えられるものでも可能である。

[0088] また、前記被写体画像取得手段102は、刻々と変化する被写体の位置・姿勢を一定の間隔、例えば30Hzの間隔で逐次的に取得することも、任意の時刻における被写体の静止画像を取得することも可能であるし、あらかじめ撮影した被写体画像を記録装置から読み出すことで取得することも可能である。なお、複数の視点位置からの被写体画像は、すべてのカメラ間の同期をとることにより同一時刻に撮影したものであることが望ましいが、被写体の位置・姿勢の変化が十分に遅く、静止物と見なせる場合にはこの限りではない。

[0089] また、前記画像生成手段103は、図6に示したように、画像生成に用いる投影面の位置・形状を決定する投影面決定手段103aと、基準視点の位置を決定する基準視点決定手段103bと、投影面に貼り付けるテクスチャ画像の配列をメモリ上に割り当てるテクスチャ配列確保手段103cと、前記被写体画像取得手段102で取得した被写体の画像において、複数の視点位置の間で被写体の同一の領域が撮影されている箇所の対応付けを行う対応点マッチング処理手段103dと、前記テクスチャ配列確保手段103cで確保したテクスチャ配列のうちの色情報を、取得した複数枚の被写体の画像の色情報を混合処理することで決定する色情報決定手段103eと、前記テクスチャ配列確保手段103cで確保したテクスチャ配列のうちの、投影面上に被写体が存在する可能性の度合い(存在確率情報)を、前記対応点マッチング処理手段103dの結果に基づいて決定する存在確率情報決定手段103fと、前記色情報決定手段103eで決定した色情報及び前記存在確率情報決定手段103fで決定した存在確率情報をもとに、前記仮想視点から見た前記投影面をレンダリングするレンダリング手段103gとにより構成される。

[0090] 前記テクスチャ配列確保手段103cで確保する配列は、各画素について色情報と存在確率情報を保持し、例えば、赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色及び前記存在確率情報に対して各8ビットで表現する。ただし、本発明はこのような特定のデータ表現

形式に依存するものではない。

- [0091] また、前記画像表示手段4は、例えば、ディスプレイ端子等の生成画像出力手段104に接続されたCRT (Cathode Ray Tube), LCD (Liquid Crystal Display), PDP (Plasma Display Panel) 等の表示装置である。前記画像表示手段4は、例えば、2次元平面状の表示装置でもよいし、利用者Userを取り囲むような曲面状の表示装置であってもよい。また、前記画像表示手段4として、立体表示が可能な表示装置を用いれば、前記仮想視点決定手段101で、前記利用者Userの左右眼に相当する2つの仮想視点を決定し、前記画像生成手段103で前記2つの仮想視点からの仮想視点画像を生成したのち、利用者の左右眼に独立した画像を提示することも可能である。また、3つ以上の仮想視点からの画像を生成し、3つ以上の視差がついた画像を表示することのできる3次元ディスプレイを用いれば、1人以上の利用者に対して立体映像を提示することも可能である。
- [0092] また、前記仮想視点画像生成装置1を用いたシステムは、例えば、図7に示したような構成になっており、利用者Userは前記視点位置入力手段2を介して仮想視点画像生成装置1に所望の視点位置・方向・画角を指定すると、前記仮想視点画像生成装置1は被写体Objを前記被写体撮影手段(カメラ)3で撮影し、その画像を取得した後、前記取得した被写体の画像をもとに指示された視点における画像(仮想視点画像)を生成する。前記生成された仮想視点画像は、前記画像表示手段4により利用者Userに提示する。
- [0093] なお、図7のシステム構成は本発明における画像生成装置の実装の一例を示すものであり、本発明の請求範囲は必ずしもこのような構成に限定されるものではなく、個々の装置の配置、形態、実装は本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意である。
- [0094] 以下、前記画像生成手段103による画像生成処理について説明するが、その具体的な処理手順を記述する前に、処理の前提となる数値モデルについて説明する。
- [0095] 図8及び図9は、本実施例1-1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数値モデルを説明するための模式図であり、図8は投影変換の一例を示す図、図9は座標変換の一例を示す図である。

- [0096] 本実施例1-1の仮想視点画像生成装置を用いた画像生成処理では、例えば、図8に示したように、カメラ3の中心位置 C_i ($i=1,2,\dots,N$)及び仮想視点 P 、投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)が設定されている。以下、複数台のカメラ3を区別するために、前記カメラの中心位置 C_i はカメラ自体も示すものとし、同様に P は仮想視点自体を示すとともに仮想視点の中心の位置を示すものとする。
- [0097] また、図8では、カメラ C_i は横一列に配置しているが、本発明はこのような配置に限定されるものではなく、例えば2次元格子状や円弧状などの多様な配置にも適用可能である。さらに、投影面 L_j の配置も必ずしも平行に限定されるものではなく、後述の実施例1-3のように曲面とすることも可能である。ただし、本実施例1-1の説明では投影面 L_j は平面であるとする。
- [0098] 本実施の形態の仮想視点画像生成方法では、実際にカメラを配置した位置 C_i で取得した被写体Objの画像をもとに前記カメラが配置されていない仮想視点 P の画像を生成するため、基本的には、カメラ C_i で撮影した被写体の画像の一部をコンピュータ等の仮想視点画像生成装置1上に想定した投影面 L_j に貼付(テクスチャマッピング)し、そのテクスチャマッピングされた投影面を前記仮想視点 P から見たときの画像を座標計算処理により生成するという手順を経る。
- [0099] このような処理を行う際、前記仮想視点 P 及びカメラ C_i は、3次元空間中の点をそれぞれの画像面の2次元の点に射影する。
- [0100] 一般的に、3次元空間上の点 (X, Y, Z) から画像面上の点 (x, y) へ射影する行列は3行4列の行列で与えられ、下記数式14及び数式15のように表すことができる。

[0101] [数14]

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \Phi \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0102] [数15]

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \end{bmatrix}$$

このとき、例えば、原点を中心とした焦点距離 f の透視投影変換を表す行列 Φ_0 は、下記数式16となる。

[0103] [数16]

$$\Phi_0 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

また、コンピュータにより扱う画像はいわゆるデジタル画像であり、メモリ上の2次元配列により表現されている。この配列の位置を示す座標系 (u, v) をデジタル画像座標系と呼ぶことにする。

[0104] このとき、例えば、640画素×480画素の大きさをもつデジタル画像上の1点は、0から639の整数値のいずれかをとる変数 u と、0から479の整数値のいずれかをとる変数 v により示され、その点での色情報はそのアドレスでの赤(R)、緑(G)、青(B)情報を8ビットなどで量子化したデータで表される。

[0105] またこのとき、図9(a)に示すような画像座標 (x, y) と、図9(b)に示すようなデジタル画像座標 (u, v) は、1対1で対応付けされ、例えば、下記数式17のような関係を持つ。

[0106] [数17]

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

ここで、図9(a)に示したx軸と図9(b)に示したu軸は平行であり、u軸とv軸の単位長は(x, y)座標系を基準に k_u , k_v 、u軸とv軸のなす角度を θ とおいた。

[0107] なお、2次元配列の書き込み及び読み取りをする際、前記デジタル画像座標(u, v)は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、配列へのアクセスの際に適当な離散化処理を行うものとする。

[0108] また、この座標変換で前記数式17の関係に加え、レンズの収差による画像の歪みを補正した変換を行うことも可能である。

[0109] 以下、前記数値モデルを用いて、具体的な仮想視点画像の生成処理手順について説明する。

[0110] 図10乃至図17は、本実施例1-1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、図10は生成処理全体のフロー図、図11は仮想視点画像を生成するステップの具体的なフロー図、図12は投影面の設定方法の一例を示す図、図13は投影点、投影点列、投影点列の集合の一例を示す図、図14は色情報の混合処理を説明するための基準視点、投影点、カメラ位置によりなす角度の一例を示す図、図15は対応点マッチング処理の一例を示す図、図16はレンダリング処理を説明するための図、図17は生成された仮想視点画像の一例を示す図である。

[0111] 本実施例1-1の仮想視点画像生成装置1を用いて仮想視点画像を生成するときには、図10に示すように、まず、利用者Userからの要求に基づき、前記仮想視点決定手段で仮想視点Pのパラメータを決定する(ステップ501)。前記ステップ501では、例えば、仮想視点Pの位置、方向、画角等を決定する。

[0112] 次に、前記複数台のカメラ3(C_i)で撮影した被写体Objの画像を、前記被写体画像取得手段102で取得する(ステップ502)。

- [0113] 次に、前記被写体画像取得手段102で取得した被写体の画像をもとに、前記仮想視点Pから前記被写体Objを見たときの画像(仮想視点画像)を生成する(ステップ503)。
- [0114] 前記ステップ503では、例えば、図11に示すような各ステップの処理を行い、仮想視点画像を生成する。
- [0115] 前記ステップ503の処理では、まず、前記投影面決定手段103aにより、仮想視点画像の生成に用いる多層構造の投影面 L_j ($j \in J, J \equiv \{1, 2, \dots, M\}$)の位置、形状を決定する(ステップ503a)。前記ステップ503aで前記投影面 L_j を設定するときには、例えば、図8に示したような、平面形状を持つ投影面を等間隔に平行に設置する。
- [0116] また、前記カメラ C_i が等間隔に配置されているときには、その設置間隔をB、カメラの焦点距離をF、画像面の1画素の大きさを δ として、下記数式18で求められる距離の系列 l_d ($d=1, 2, 3, \dots$)に平面(投影面)を配置してもよい。
- [0117] [数18]

$$l_d = \frac{BF}{\delta d} \quad (d = 1, 2, 3, \dots)$$

このような場合、カメラ間の対応点マッチングの奥行き分解能と投影面の設置間隔が一致する。すなわち、図12に示すように、カメラ C_n 及び C_{n-1} が間隔Bで設置されており、カメラ C_n の画像面上の点をA、カメラ C_{n-1} の画像面上で C_n における点Aに相当する点を A_0' 、 A_0' からd画素目の点を A_d' とすれば、点Aの対応点は $\{A_0' \mid d=1, 2, \dots\}$ からなる系列となり、その際に計算される距離の系列は前記数式18で与えられる。

- [0118] ただし、前記投影面 L_j の設定例はあくまでも一例であり、本発明の画像生成法は基本的に2枚以上の異なる投影面を設定すればよく、このような特定の投影面の設定法に限定されるものではない。
- [0119] 前記ステップ503aの処理が済んだら、次に、前記基準視点決定手段103bにより、後の処理で用いる、投影点上に被写体が存在する可能性の度合い(存在確率情報)

を計算する際に基準とする点(基準視点)Rを決定する(ステップ503b)。前記基準視点Rの位置は仮想視点Pの位置と一致させてもよいし、仮想視点が複数ある場合にはその重心位置にとってもよい。ただし、本発明は特定の基準視点の取り方に依存した方法を提供するものではない。

[0120] 前記ステップ503bの処理が済んだら、次に、前記投影面上に多数の投影点を設定する(ステップ503c)。このとき、基準視点Rを通る複数の直線上に投影点がかかるように設定し、同一の直線上にある投影点を投影点列としてひとまとめに扱う。ここで、例えば、図13に示すように、基準視点Rを通るある直線に着目し、投影面 L_j 上にある投影点を T_j 、それらを集めた投影点列をSとおけば、 $S = \{T_j \mid j \in J\}$ と書け、さらに投影点列の集合を Σ とおけば $S \in \Sigma$ となる。

[0121] 前記ステップ503の処理が済んだら、次に、前記テクスチャ配列確保手段103cにより、前記投影面にテクスチャマッピングする画像を保持する配列(テクスチャ配列)を、画像生成装置のメモリ上に確保する(ステップ503d)。このとき、確保する配列は、前記投影点の位置に対応するテクスチャ情報を画素毎に、色情報(R, G, B)及び存在確率情報を例えば8ビットずつ持たせる。

[0122] また、前記ステップ503dでは、テクスチャ配列の画素の2次元デジタル座標(U_j, V_j)と投影点 T_j の3次元座標(X_j, Y_j, Z_j)の対応関係も設定する。このとき、例えば、すべての(U_j, V_j)の値に対して(X_j, Y_j, Z_j)の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な(U_j, V_j)に対してのみ(X_j, Y_j, Z_j)の値を設定し、その他対応は補完処理(例えば線形補完)により求めてもよい。

[0123] 前記ステップ503dの処理が済んだら、前記ステップ502で取得した被写体の画像をもとに、前記ステップ503dで確保した各投影点に相当する画素の色情報及び存在可能性情報を決定する。その際、投影点列Sを $S \in \Sigma$ の範囲で順に走査し、さらに投影点 T_j を $T_j \in S$ の範囲で順に走査し、2重のループ処理を行う。

[0124] 前記ループ処理は、まず、操作する投影点列Sを開始位置に初期化する(ステップ503e)。そして次に、走査する投影点 T_j を投影点列S内で開始位置に初期化し、例えば、 $j=1$ とする(ステップ503f)。

[0125] 前記ステップ503e及び前記ステップ503fの処理が済んだら、次に、投影点 T_j の座

標 (X_j^*, Y_j^*, Z_j^*) を求め、 (X_j^*, Y_j^*, Z_j^*) の位置にある点を各カメラで撮影したとき、画像面のそれぞれどの位置に対応するかを前記数式14から数式17までの関係を用いて算出する(ステップ503g)。このとき、前記対応点を計算するカメラの集合 $\Xi \equiv \{C_i \mid i \in I\}$ とおく。前記カメラの集合 Ξ は、すべてのカメラであってもよいし、仮想視点Pや基準視点R、投影点 T_j の位置に応じて1つもしくは複数のカメラを任意に選択してもよい。

[0126] ここで求めた各カメラの対応点を G_{ij} ($i \in I$)とおき、そのデジタル座標を (u_{ij}^*, v_{ij}^*) ($i \in I$)とおく。

[0127] 前記ステップ503gの処理が済んだら、次に、前記色情報決定手段103eにより、投影点 T_j に対応するテクスチャ配列上の画素 (U_j^*, V_j^*) における色情報を、 (u_{ij}^*, v_{ij}^*) ($i \in I$)における色情報を混合することにより決定する(ステップ503h)。前記混合処理は、例えば、各カメラの対応点の色情報の平均値をとる。

[0128] また、前記混合処理では、例えば、カメラ C_i 、投影点 T_j 、基準視点Rによりなす角 θ_{ij} に応じた重み付けを行うことも可能である。ここで、例えば、図14に示すように、カメラの集合を $\Xi = \{C_n, C_{n+1}, C_{n+2}\}$ ($I = \{n, n+1, n+2\}$)とした場合を考える。このとき、投影点 T_j と対応点 G_{ij} における色情報(R, G, B)を表すベクトルをそれぞれ K_j, K_{ij} とおくと、例えば、下記数式19のように K_j を決定すれば、基準視点Rから投影点 T_j を見る角度と近い角度から撮影したカメラほど、混合処理の寄与の程度が大きくなる。

[0129] [数19]

$$K_j = \frac{\sum_{i \in I} \cos \theta_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_{i \in I} \cos \theta_{ij}}$$

前記ステップ503hの処理が済んだら、前記対応点マッチング処理手段103dにより、投影点 T_j に対する各カメラの対応点 G_{ij} ($i \in I$)の相関の程度 Q_j を計算する(ステップ503i)。前記相関の程度 Q_j は、例えば下記数式20のようにすれば、 Q_j が正の値をと

り、対応点の相関が高いほど Q_j は小さな値をとる。

[0130] [数20]

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

また、前記数式20では、投影点と対応点の色情報を1点でのみ比較しているが、投影点と対応点の近傍にある複数の点で色情報の比較を行うこともできる。このとき、例えば、図14に示すように、投影面 T_j の近傍の領域 Φ_j 、カメラ C_i における対応領域 Ψ_{ij} をとると、これらの領域における相関の程度 Q_j は、例えば、下記数式21により計算される。

[0131] [数21]

$$Q_j = \sum_{i \in I} \sum_{\substack{(U_j, V_j) \in \Phi_j \\ (u_{ij}, v_{ij}) \in \Psi_{ij}}} \{K(U_j, V_j) - K(u_{ij}, v_{ij})\}^2$$

ここで $K(U_j, V_j)$ はテクスチャ配列の座標 (U_j, V_j) における色情報の推定値、 $K(u_{ij}, v_{ij})$ はカメラ C_i における撮影画像の座標 (u_{ij}, v_{ij}) における色情報を示す。

[0132] なお、相関の程度を計算する方法は上記の限りではなく、本発明は特定の計算方法に依存するものではない。例えば、図15に示した例では、投影点 T_j 及び対応点に相当する画素とその周りの8画素からなる領域を、それぞれ近傍の領域 Φ_j 、及びその対応領域 Ψ_{ij} としている。しかし、近傍の領域 Φ_j 、及びその対応領域 Ψ_{ij} の定め方は、この例に限定されるものではない。

[0133] 前記ステップ503iの処理が済んだら、次に、前記投影点 T_j を更新し(ステップ503j)、投影点 $T_j \in S$ をすべて走査したかを判別する(ステップ503k)。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら、次のステップ503lに進み、まだ走査し終えていないのであれ

ば前記ステップ503gに戻る。

[0134] 前記ステップ503kで、すべて走査し終えたと判別されたら、次に、前記存在確率情報決定手段103fにより、前記ステップ503iで計算した相関の程度 Q_j をもとにして、基準視点Rを通る直線上にあるすべての投影点 $T_j (j \in J)$ について、投影点上に被写体が存在する可能性の度合い(存在確率情報) β_j を決定する(ステップ503l)。ただし、前記存在確率情報 β_j は、下記数式22及び数式23の条件を満たす必要がある。

[0135] [数22]

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

[0136] [数23]

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

さらに、投影点 T_j に被写体が存在する確率が高いほど1に近い値をとるため、前記ステップ503iで計算した投影点と対応点の相関の程度 Q_j に対し、例えば、下記数式24及び数式25で表される変換処理を施して前記存在確率情報 $\beta_j (j \in J)$ を得る。

[0137] [数24]

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

[0138] [数25]

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

ただし、前記存在確率情報 β_j は、前記数式22及び数式23の条件を満たせばよい
ため、変換処理は必ずしも前記数式24及び数式25で表される方法に限定されるも
のではない。

[0139] 前記ステップ503lの処理が済んだら、次に、投影点列Sを更新し(ステップ503m)、
投影点列 $S \in \Sigma$ をすべて走査したかを判別する(ステップ503n)。ここでもし、すべ
てを走査し終えたのなら次のステップ503oに進み、まだ走査し終えていないのであ
ればステップ503fに戻る。

[0140] 前記ステップ503nで、すべて走査し終えたと判別されたら、次に、前記レンダリン
グ手段103gにより、多層構造を持つ投影面 $L_j (j=1, 2, \dots, M)$ を仮想視点Pから見た画
像を、前記存在確率情報 β_j に応じて描画して生成する(ステップ503o)。ここで、例
えば、図16に示すように、仮想視点Pにおける画像面の座標が (u_p, v_p) で表されてい
るとする。このとき、画像面上のある画素 $p^*(u_p^*, v_p^*)$ の色情報 K_p^* は、Pと p^* を結ぶ直
線上にある投影点列 $\{T_j^* \mid j \in J\}$ の色情報 $\{K_j^* \mid j \in J\}$ に対応する存在確率情報 $\{\beta_j^* \mid j \in J\}$ を掛けて加算したものとして決定され、下記数式26のように表される。

[0141] [数26]

$$K_p^* = \sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*$$

そして、画像面上にあるすべての画素について色情報を決定すれば、仮想視点P
における画像を得ることができる。

[0142] また、前記数式26の代わりに、下記数式27として K_p^* を計算すると、基準視点Rと仮

想視点Pの位置が異なる場合でも、 K_p^* は必ず有効な色空間の範囲内に収めることが保証される。

[0143] [数27]

$$K_P^* = \frac{\sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_j^*}$$

なお、ここでは画像面の画素を走査して色情報を決定する手順を示したが、これに限らず、例えば、OpenGLやDirectX等の汎用的なグラフィックスライブラリに投影面の構成、テクスチャ配列、視点Pの設定などのデータを受け渡し、描画処理を任せてもよい。

[0144] 以上で前記仮想視点画像の生成処理(ステップ503)が終了し、生成された仮想視点画像は、前記画像表示手段4に表示される(ステップ504)。このとき、前記画像表示手段4に表示される仮想視点画像6は、例えば、図17に示すように、被写体の像7のうち、前記ステップ503Iで計算した前記相関の程度 Q_j が低い、すなわち推定値の信頼性が低い箇所7Aは、曖昧に描画され、ぼやけたようになっている。そのため、例えば、図1に示したような、従来の仮想視点画像6のように、画像が欠損しているようには見えず、利用者の目には気にならない程度の劣化となる。

[0145] その後、前記ステップ505で、処理の継続あるいは終了を判断し、継続するのであれば最初のステップ501から繰り返し、終了であれば終了処理を行う。

[0146] 以上説明したように、本実施例1-1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法によれば、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、

極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化を目立たなくすることができ、利用者の見た目には劣化の少ない仮想視点画像とすることができる。

[0147] また、本実施例1-1の仮想視点画像生成装置1では、テクスチャマッピングを利用して仮想視点画像を生成するので、画像生成処理における装置の負荷を小さくすることができ、かつ、高速に仮想視点画像を生成することができる。

[0148] また、前記仮想視点画像生成装置1は、専用の装置である必要はなく、例えば、CPU、及び、メモリ、ハードディスク等の記憶装置を有するコンピュータとプログラムによっても実現することができる。その場合、図11に示したような各ステップをコンピュータに実行させることが可能なプログラムを作成し、前記コンピュータに実行させれば、普及型のパーソナルコンピュータでも、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。なお、この場合、処理に係るデータは記憶装置に保持され、適宜読み出されてCPUにより処理がなされる。

前記プログラムは、フロッピーディスクやCD-ROM等の記録媒体に記録して提供することもできるし、ネットワークを通して提供することも可能である。

[0149] なお、本実施例1-1で説明した仮想視点画像生成装置の構成、及び仮想視点画像の生成方法や処理手順は一例であり、本発明の本旨とするところは、多層から構成される投影面の透明度情報を、複数の異なる視点位置から被写体を撮影した画像間の対応領域の信頼性に応じて決定することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の処理方法や実装に依存するものではない。

[0150] また、前記仮想視点画像生成装置1を利用したシステムも、図7に示したような、一方向のシステムに限らず、双方向のシステムでも適用できる。

[0151] 図18は、前記実施例1-1の仮想視点画像生成装置1を適用したシステムの応用例を示す模式図である。

[0152] 前記実施例1-1の仮想視点画像生成装置1は、例えば、テレビ電話やテレビ会議等のシステムに適しており、例えば、図18に示すように、通信ネットワークを介して遠隔地に存在する利用者UserA及びUserBにおいて、両者が利用者であるとともに被

写体であるとし、お互いの画像を提示し合い、視覚的なコミュニケーションを支援するシステムに適用することができる。このとき、UserAが所望する視点からのUserBの画像を $\text{Img}[A \rightarrow B]$ とおけば、 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ はUserB側の被写体撮影手段(カメラ)3Bにより撮影されたUserBの画像をもとに生成されてUserA側の画像表示手段4Aに提示される。また、UserBが所望する視点からのUserAの画像を $\text{Img}[B \rightarrow A]$ とおけば、 $\text{Img}[B \rightarrow A]$ はUserA側の被写体撮影手段(カメラ)3Aにより撮影されたUserAの画像をもとに生成されてUserB側の画像表示手段4Bに提示される。

[0153] また、図18に示したシステムでは、各Userの視点位置入力手段が、利用者の頭部に装着された位置／姿勢センサのデータ送信部201A、201Bとデータ受信部202A、202Bにより構成され、利用者の頭部移動に自動的に追従して所望の仮想視点を算出するような例を示している。しかしながら、前記視点位置入力手段は、必ずしもこのような形態をとる必要はない。また、被写体撮影手段3A、3Bにより撮影された利用者の画像をもとに頭部の位置／姿勢を推定し、同様の機能を持たせることも可能である。

[0154] ここで、 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ はUserA側の仮想視点画像生成装置1AとUserB側の仮想視点画像生成装置1Bのどちらで生成するようなシステム構成も可能である。前者の場合には、カメラ3Bで撮影されたUserBの画像がネットワーク8を介してUserA側の仮想視点画像生成装置1Aに伝送され、それをもとに前記仮想視点画像生成装置1Aで $\text{Img}[A \rightarrow B]$ が生成されて画像表示手段4Aで提示される。また、後者の場合にはUserB側のカメラ3Bで撮影されたUserBの画像をもとにUserB側の仮想視点画像生成装置1Bで $\text{Img}[A \rightarrow B]$ が生成されたのち、仮想視点画像 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ がUserA側の仮想視点画像生成装置1Aに伝送されて画像表示手段4Aで提示される。また、説明は省略するが、 $\text{Img}[B \rightarrow A]$ についても同様である。

[0155] また、図6における画像生成手段103を構成する各手段は、UserA側の仮想視点画像生成装置1A及びUserB側の仮想視点画像生成装置1Bのどちらで分担することも可能であり、例えば、 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ を生成するためにUserA側にある画像生成装置1Aで投影面決定手段103a及び基準視点決定手段103b、ならびに対応点マッチング手段103dを実装し、UserB側にある画像生成処理装置1Bでテクスチャ配列確

保手段103c及び色情報決定手段103e及び存在確率情報決定手段103f及びレンダリング手段103gを実装することができる。また、説明は省略するが、 $\text{Img}[B \rightarrow A]$ についても同様である。

[0156] さらに、ネットワーク8上の任意の場所に、UserA側及びUserB側の前記仮想視点画像生成装置1A、1Bとは別の画像生成装置1Cを設け、画像生成手段のすべて若しくは一部を実装することも可能である。

[0157] なお、ここではUserAとUserBの2人の利用者間での通信について述べたが、利用者の人数は、この限りではなく、さらに多数の利用者間でも同様に本発明を適用することができる。その際、利用者が実際に存在する実空間とは別にコミュニケーションに用いる仮想空間を想定し、その位置関係に応じた他の利用者の画像をお互いに提示し合えば、あたかもネットワーク上の仮想空間(サイバースペース)を共有するような感覚を利用者に提示することができる。

[0158] (実施例1-2)

図19は、実施例1-2の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図19(a)は本実施例1-2の特徴となる処理を示すフロー図、図19(b)は透明度情報を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

[0159] 本実施例1-2では、前記実施例1-1で説明した仮想視点画像の生成処理において、前記ステップ503lで計算した投影点の存在確率情報の代わりに、前記存在確率情報を透明度情報に変換して画像生成を行う例を示す。

[0160] このとき、前記仮想視点画像生成装置1の構成や、全体的な処理手順については、前記実施例1-1で説明した例と同様な形態をとることができるため、以下、差異のある部分のみを説明する。

[0161] 前記実施例1-1では、前記画像を生成するステップ503において、図11に示したように、前記ステップ503lで決定した前記存在確率情報 β_j を用いて、仮想視点画像を生成していたが、本実施例1-2では、図19(a)に示すように、前記ステップ503lの後、前記存在確率情報を変換して透明度を決定するステップ503pを付加する。

[0162] そのため、前記実施例1-1のテクスチャ配列を確保するステップ503dでは、色情報及び前記存在確率情報を保持する配列を確保したのに対し、本実施例1-2のス

テップ503dでは、色情報及び前記透明度情報を保持する配列を確保する。

[0163] 前記透明度情報 α_j は、前記存在確率情報 β_j をもとに計算され、前記実施例1-1のステップ503lと同様、本実施例1-2でも、前記ステップ503lで前記存在確率情報をいったん計算し、次のステップ503pで透明度情報を計算する。

[0164] また、本実施例1-2のレンダリング処理を行うステップ503oでは、前記実施例1-1で説明した前記数式26や数式27の代わりに、前記数式2から前記数式4までに従ってDを逐次的に計算する。そのため、画像面上のある画素 $p^*(u_p^*, v_p^*)$ の色情報 K_j^* は、下記数式28のように計算することになる。

[0165] [数28]

$$\begin{aligned} K_p^* &= D_M \\ &= \alpha_M K_M + (1 - \alpha_M) \alpha_{M-1} K_{M-1} + \dots \\ &\quad + (1 - \alpha_M) (1 - \alpha_{M-1}) \dots (1 - \alpha_2) \alpha_1 K_1 \end{aligned}$$

以上が本実施例における画像生成方法であるが、前記存在確率情報 β_j をもとに透明度情報 α_j を計算する方法の一例を、以下で示す。

[0166] まず、前記数式26と前記数式28を比較すると、下記数式29のようになる。

[0167] [数29]

$$\begin{cases} \beta_M = \alpha_M \\ \beta_j = \left\{ \prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) \right\} \alpha_j \end{cases} \quad (j \in J)$$

この関係から、 $j=M, M-1, \dots, 1$ の順に α_j を求めていく手順は以下のようになる。

[0168] まず、図19(b)に示すように、jの初期値として $j=M$ とする(ステップ5031p)。次に、前記数式29から、 $\alpha_M = \beta_M$ と決定する(ステップ5032p)。次に、jの値を $j=j-1$ と更新

する(ステップ5033p)。

[0169] 次に、 α_{j+1} が1か否かを判別する(ステップ5034p)。このとき、 $\alpha_{j+1} \neq 1$ であれば、前記数式29の関係から、下記数式30により α_j を決定する(ステップ5035p)。

[0170] [数30]

$$\alpha_j = \frac{1}{\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m)} \beta_j$$

一方、 $\alpha_{j+1} = 1$ のときは、下記数式31により α_j を決定する(ステップ5036p)。

[0171] [数31]

$$\alpha_j = 1$$

この根拠を説明すると、まず、 $\alpha_{j+1} = 1$ ならば、下記数式32のようになり、前記数式30では分母が0(零)となるため計算できない。

[0172] [数32]

$$\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) = 0$$

そこで前記数式32を展開すると、下記数式33となり、前記数式29を代入すると、数式34のようになる。

[0173] [数33]

$$\alpha_M + (1 - \alpha_M)\alpha_{M-1} + \dots + (1 - \alpha_M)(1 - \alpha_{M-1}) \dots (1 - \alpha_{j+2})\alpha_{j+1} = 1$$

[0174] [数34]

$$\beta_M + \beta_{M-1} + \dots + \beta_{j+1} = 1$$

前記数式34と前記数式22及び数式23から、下記数式35が得られる。

[0175] [数35]

$$\beta_j = 0$$

ここで、前記数式32と前記数式35を、前記数式29の下辺に代入すれば $0 = 0 \times \alpha_j$ となり、 α_j は任意の値をとりうる事がわかる。そこで、本実施例1-2では、例えば、 $\alpha_j = 1$ と設定する。

[0176] ただし、上記の通り α_j は任意の値に設定することができ、本発明は特定の α_j の決定法に依存するものではない。

[0177] 次に、 $j=1$ まで処理したかを判別し(ステップ5037p)、すべての処理が済んだならば終了、まだ済んでいないのであれば前記ステップ5033pに戻る。

[0178] 以上説明したように、本実施例1-2の仮想視点画像生成方法によれば、前記実施例1-1と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

[0179] また、前記実施例1-1で説明したように、存在確率情報をそのまま用いた画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、本実施例1-2のように、存在確率情報を透明度に変換す

る画像生成では、この現象を防止する効果がある。そのため、画像の劣化が少なく、より実際の被写体に近い仮想視点画像を得ることができる。

[0180] また、前記実施例1-1で説明したように、存在確率情報をそのまま用いる画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合には、後に示す数式を用いた演算で色情報を計算した場合に有効な色情報の範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、本実施例1-2のように、前記存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。そのため、画像生成処理が簡略化できる。

[0181] また、本実施例1-2の仮想視点画像生成方法のように、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

[0182] なお、本実施例1-2で説明した仮想視点画像生成方法は一例であり、本実施例の本旨とするところは、前記存在確率情報を透明度情報に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

[0183] また、上記の色情報とは、白黒画像の場合には輝度情報に相当し、同様に処理することが可能である。

[0184] (実施例1-3)

図20は、実施例1-3の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

[0185] 本実施例1-3では、複数のカメラで共通の投影面 L_j を用いるのではなく、カメラ C_j 毎に固有の投影面を設定して画像生成する方法について説明する。なお、仮想視点画像生成装置1の構成や、全体的な画像生成の処理手順は前記実施例1-1で説明した手順と同様であるので、詳細な説明は省略する。

[0186] まず、前記実施例1-1で説明したように、前記ステップ501で仮想視点を決定し、次の前記ステップ502で被写体の画像を取得する。

[0187] 本実施例1-3の画像生成方法では、次に行われる前記仮想視点画像を生成するステップ503の、投影面を決定するステップ503において、前記カメラ毎に固有の投

影面群を設定する。

- [0188] このとき、前記投影面群は、例えば、図20に示すように、カメラ C_i ($i \in I$, $I = \{n-1, n, n+1, n+2\}$) の画像面 Img_i ($i \in I$) に平行に、それぞれ固有の投影面群 $\Lambda_i \equiv \{L_{ij} \mid j \in J\}$ を設定する。
- [0189] 前記投影面群の設定が済んだら、次に、前記ステップ503bの基準視点を決定する処理において、前記投影面群 Λ_i に固有の基準視点 R_i を、カメラの視点 C_i と同じ位置に設定する。
- [0190] 前記ステップ503bが済んだら、次に、前記実施例1-1で説明したような手順で前記ステップ503cの処理を行う。そしてその次のステップ503dでは、カメラで撮影したデジタル画像の各画素を投影面上に逆投影し、投影面のテクスチャ配列の各画素と対応づける。
- [0191] ここで、デジタル画像の点 (u, v) と画像面上の点 (x, y) への変換は、例えば、前記数式17で表され、 (x, y) から3次元空間中の投影面上の点 (X, Y, Z) への逆投影は例えば以下のように数式化できる。
- [0192] 一般に、2次元の点 (x, y) が与えられたとき、前記数式14及び前記数式15を満たすような点 (X, Y, Z) は3次元中に無数にあるが、そのうち投影面上にある点 (X, Y, Z) が逆投影像である。
- [0193] 投影面の式は一般的に $aX + bY + cZ + d = 0$ と表現され、これをベクトル表現で書き直すと、下記数式36のようになる。
- [0194] [数36]

$$\begin{bmatrix} a & b & c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

ここで前記数式14及び前記数式15、ならびに前記数式36をまとめると、下記数式37が得られる。

[0195] [数37]

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ a & b & c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

そこで、前記数式37を(X, Y, Z)について解くと(x, y)から(X, Y, Z)への逆投影像を求めることができる。ここで、例えば、前記数式37の4行4列の行列が逆行列を持つならば、s'=1/sとおけば、前記逆投影像は下記数式38で求められる。

[0196] [数38]

$$s' \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ a & b & c & d \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

なお、上記の例はあくまでも一例であり、レンズの収差(例えば歪曲収差)を補正するようなキャリブレーションを行うことも可能であるし、デジタル画像の点(u, v)に対応する投影面上の点(X, Y, Z)をテーブルとして持つことも可能である。

[0197] その後、前記実施例1-1で説明した手順で前記ステップ503eから前記ステップ503g間での処理を行う。そしてその次のステップ503hの色情報を決定する処理では、前記投影面群 Λ_i 上の投影点は、カメラ C_i で撮影した画像の色情報のみを用いて決

定する。

[0198] 本実施例1-3で説明した前記ステップ503dと前記ステップ503hのようにすることで、カメラで撮影したデジタル画像をそのまま投影面のテクスチャ配列の色情報として用いることができる。

[0199] その後再び、前記ステップ503iから前記ステップ503nまでは、前記実施例1-1と同じ手順で処理を行う。そしてその次に、前記ステップ503oのレンダリング手段においては、仮想視点Pから見て重なり合うすべての投影点について色情報の混合処理を行う。このとき、例えば、図20に示した例では、投影面群 Λ_n 及び Λ_{n+1} 上の投影点について、仮想視点Pを通る直線上で色情報の混合処理を行っている。

[0200] ここで、投影面 L_{ij} 上にある投影点を T_{ij} 、 T_{ij} での色情報を K_{ij} 、存在可能性情報を β_{ij} として、前記実施例1-1で前記数式27として表された仮想視点Pの画像面の色情報は例えば以下のように決定される。

[0201] すなわち、画像面上のある画素 $p^*(u_p^*, v_p^*)$ の色情報 K_p^* は、Pと p^* を結ぶ直線上にある投影点列 $\{T_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ の色情報 $\{K_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ に対応する存在可能性情報 $\{\beta_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ を係数とした重み付き平均値として決定され、下記数式39となる。

[0202] [数39]

$$K_P^* = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j=1}^M \beta_{ij} K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_{ij}}$$

以上説明したように、本実施例1-3の仮想視点画像生成方法によれば、前記実施例1-1と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

[0203] また、本実施例1-3のように、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定すれば、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投

影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

[0204] なお、本実施例1-3で説明した仮想視点画像生成方法は一例であり、本実施例の本旨とするところは、前記存在確率情報を透明度情報に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

[0205] また、上記の色情報とは、白黒画像の場合には輝度情報に相当し、同様に処理することが可能である。

[0206] (第1の実施の形態の効果)

第1の実施の形態で説明した方法によれば、従来の方法のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提とし、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化が目立たなくなる。

[0207] また、基準視点と仮想視点異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じるという問題を解決できる。また、基準視点と仮想視点異なる場合、色情報を計算したときに有効な色情報の範囲内に収まる保証がないので、補正処理が必要となることがあるが、本実施の形態で説明した方法ではこのような補正は不要である。また、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界に存在する、より多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。また、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定すれば、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

[0208] 更に、前記カメラ毎に固有の投影面群を設定した場合、投影面の色情報に関しては対応するカメラで撮影した画像間での混合処理が必要ない。そのため、例えば、計算機(コンピュータ)で処理する際に並列処理が可能であり、画像生成の高速化が

可能である。

[0209] また、同じカメラに対応付けされている投影面群の色情報はすべて同じであるため、計算機(コンピュータ)で処理する際に、色情報を格納するテクスチャメモリを共有できる。そのため、投影面の数ほどはメモリを消費することがなく、画像生成に用いる装置の負荷を低減することができる。更に、ある投影面に対応するカメラは一意に決定されているため、両者の座標の対応関係をあらかじめ設定しておくことで、レンズの歪曲収差の補正などのキャリブレーションを容易にかつ高速に行うことができる。

[0210] また、複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する装置の処理時間を短縮する、あるいは装置にかかる負荷を軽減することができ、普及型のパーソナルコンピュータでも部分的な劣化が少ない画像を短時間で生成させることができる。

[0211] [第2の実施の形態]

以下、本発明の第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態は、主に請求項12～請求項21に対応する実施の形態である。第2の実施の形態における基本的なしくみは第1の実施の形態と同様であるが、第2の実施の形態では、カメラセットを複数組用意し、カメラセット毎に求めた相関度に基づき存在確率を算出する点に特徴がある。なお、第2の実施の形態を説明するための図において、同一機能を有するものは、同一符号を付ける。

[0212] 第2の実施の形態の画像生成方法は、視点が異なる複数枚の画像から、前記画像に写っている物体の3次元形状を取得し、前記物体の3次元像を提示する画像、あるいは任意の視点から前記物体を見たときの画像を生成する方法である。このとき、前記物体の3次元形状は、テクスチャマッピングの手法を用い、多層構造の投影面を設定して、前記観察者の視点から物体の表面上の各点までの距離を推定して求める。前記物体の表面までの距離を推定するときには、例えば、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影面上の点(以下、投影点という)に対して、前記投影点と対応する各画像上の点(以下、対応点という)の相関度を求める。そして、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影点の相関度の高さから、前記重なり合う投影点のうち、どの投影点の近傍に前記物体の表面が存在するか推定する。ただし、本実施の形態の画像生成方法では、前記観察者の視点から見て重なり合う複数の投影点のうち、ど

の投影点の近傍に前記物体の表面が存在するかということを考えるのではなく、前記各投影点の近傍に、前記各投影点の相関度の大きさに応じた割合で物体の表面が存在すると考える。このとき、本発明の画像生成方法では、前記各投影点に対する相関度から、前記各投影点もしくはその近傍に物体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定する。そして、前記被写体の3次元形状に基づいて画像を生成するときに、前記投影点の色情報を前記生成する画像上の各点の色情報に割り当てるときに、前記存在確率の高さに応じた割合で割り当てる。このようにして、前記投影面を観察している観察者から見て、前記物体表面までの距離の推定が難しい部分を曖昧に描画し、不連続なノイズ等を目立ちにくくする。

[0213] また、前記観察者の視点、もしくは物体の3次元形状を取得するための基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、物体表面の存在確率の確率密度分布をある程度想定できるのであれば、確率密度分布を反映したパラメータ関数 $p(l)$ を用いて前記存在確率を求めてもよい。その場合、撮影した画像上のノイズ（雑音）の影響による相関度のばらつきを低減でき、存在確率の信頼性の低下を防げる。

[0214] またさらに、ある投影点に対する相関度を、全ての画像上の対応点を用いて求めるのではなく、あらかじめ定められていくつかの視点から撮影した画像上の対応点から求めれば、例えば、オクルージョン（遮蔽）により前記投影点上に物体の表面があっても写らない画像を取り除くことで、前記相関度の高さの信頼性が向上し、前記存在確率の信頼性も向上する。

[0215] 図21乃至図28は、本実施の形態の画像表示方法の原理を説明するための模式図であり、図21は表示する画像の生成方法の概念を説明する図、図22は図21を2次元的に表現した図、図23(a)及び図23(b)は対応点の相関度の求め方を説明する図、図24(a)及び図24(b)は対応点の相関度を求めるときに問題となる点を説明する図、図25は相関度を求めるときの問題を解決する方法を説明する図、図26(a)及び図26(b)は存在確率の精度を向上させる方法の一例を説明する図、図27(a)、図27(b)、及び図28は本実施の形態の特徴を説明する図である。

[0216] 本実施の形態の画像表示方法では、表示する画像を生成するときに、まず、コンピュータ等の画像生成装置内に仮想的な3次元空間を設定し、前記3次元空間上に、

前記物体の画像を撮影したカメラの視点 C_i ($i=1,2,\dots,N$)、及び物体の3次元形状を推定する多層構造の投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)を設定する。このとき、前記カメラがある1本の直線上に並んでいるとすれば、前記視点 C_i は、例えば、図21及び図22に示すように、X軸($Z=0$)上に設定する。また、前記投影面 L_j は、例えば、図21及び図22に示すように、XY平面に平行な平面を、 $Z=1_j$ (<0)に設定する。

[0217] このとき、図21及び図22に示したように、観察者の視点Pから引いた直線 lp とある投影面 L_m の交点(投影点) T_m に物体の表面があれば、その点は、前記視点 C_i に設置したカメラで撮影した画像上の点(対応点) $G_{i,m}$ に写るはずである。同様に、前記投影点 T_m に物体の表面があれば、その点は、前記視点 C_{i+1} 、 C_{i+2} に設置したカメラで撮影した画像上ではそれぞれ、対応点 $G_{i+1,m}$ 、 $G_{i+2,m}$ に写るはずである。そのため、前記投影点 T_m に対する前記各画像上の対応点 $G_{i,m}$ 、 $G_{i+1,m}$ 、 $G_{i+2,m}$ の相関度(類似度)がわかれば、前記投影点 T_m 上もしくはその近傍に物体の表面が存在するかどうか推定することができる。そして、このような推定を、前記観察者の視点Pから引いた直線 lp 上の各投影点 T_j に対して行えば、前記観察者の視点Pから引いた直線 lp 上では、物体の表面がどの投影点 T_j (投影面 L_j)の近傍にあるか推定できる。

[0218] 前記観察者の視点Pから引いた直線 lp 上で、物体の表面がどの投影点 T_j (投影面 L_j)の近傍にあるか推定するときには、例えば、前記投影点 T_j と対応する各対応点 $G_{i,j}$ の相関度 Q_j を用いる。前記相関度 Q_j は、例えば、第1の実施の形態と同様に、下記数式40を用いて求める。

[0219] [数40]

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

ここで、 I は各カメラの視点 C_i ($i=1,2,\dots,N$)のうち画像面上に前記投影点 T_j に対する対応点 $G_{i,j}$ を定義できる視点 C_i の組み合わせ、 K_j は各対応点 $G_{i,j}$ の色情報、 K_{ij} は投影点 T_j の色情報で前記各対応点 $G_{i,j}$ の色情報 K_{ij} の平均値とする。

[0220] このとき、設定した投影面 L_j に、実際の物体の表面形状を重ね合わせると、例えば

、図23(a)のようになる場合を考えてみる。このとき、前記観察者の視点Pから引いた直線lp上の投影点 T_j のうち、前記カメラの視点 C_i 、 C_{i+1} 、 C_{i+2} から見える物体表面に最も近い投影点は投影点 T_m である。そのため、前記投影点 T_m に対する対応点 $G_{i,m}$ 、 $G_{i+1,m}$ 、 $G_{i+2,m}$ のそれぞれに写っている物体表面上の点は、図23(a)に示したように、非常に近い位置関係にある。一方、例えば、投影面 T_2 に対する対応点のそれぞれに写っている物体表面上の点は、離れた位置関係にある。その結果、前記数式40を用いて、前記直線lp上の各投影点 T_j の相関度 Q_j を求めると、図23(b)に示すように、前記投影点 T_m の相関度 Q_m だけが非常に小さな値となる。そのため、前記観察者の視点Pから前記直線lpの方向を見たときに、物体の表面は、前記投影点 T_m 、すなわち前記投影面 L が設定されている距離 l_m の位置にあると推定できる。

- [0221] そこで、前記観察者の視点Pから様々な方向に直線lpを引き、各直線lp上の投影点 T_j に対して、同様の処理を繰り返せば、前記画像に写っている物体の表面形状を推定することができる。
- [0222] ただし、このような推定方法が有効である、すなわち推定した物体の表面形状の信頼性が高いのは、図23(a)及び図23(b)に示したように、実際の物体の表面形状が比較的単純な場合だけであり、物体の形状が複雑であったり、複数の物体が観察者の視点Pから見て重なっている場合には、推定した物体の表面形状の信頼性が低くなる。
- [0223] ここで、推定した物体の表面形状の信頼性が低くなる例として、2個の物体が観察者の視点Pから見て重なっており、設定した投影面 L_j と、2個の物体の表面形状を重ね合わせると、例えば、図24(a)のようになる場合を考えてみる。このとき、図24(a)において破線で示している観察者の視点Pから引いた直線lp上の投影点 T_j に対して相関度 Q_j を求めれば、例えば、図23(b)に示したような分布になると考えられる。そのため、前記直線lpの付近では、推定した物体Aの表面形状の信頼性が高いと考えられる。
- [0224] ところが、例えば、図24(a)において実線で示している観察者の視点Pから引いた直線lp'上の投影点 T'_m に対して相関度 Q'_m を求める場合、視点 C_i から撮影した画像の対応点 $G'_{i,m}$ には物体Bの表面が写っており、前記視点 C_{i+1} 、 C_{i+2} から撮影した画

像の対応点 $G'_{i+1,m}$, $G'_{i+2,m}$ には物体Aの表面が写っている。このような場合、前記数式40から求めた相関度 Q'_m は大きくなってしまふ。その結果、前記直線 lp' 上の投影点 T'_j の相関度 Q'_j の分布は、図24(b)に示したようになり、どの投影点 T_j の近傍に物体の表面があるか推定することが難しい。このとき、図23(b)に示したような分布の場合と同様に、相関度 Q'_j が最も小さい投影点 T'_j の近傍に物体の表面があると推定すると、その推定が誤りであった場合、表示する画像上に不連続なノイズとなって現れてしまふ。

[0225] そこで、本実施の形態の画像表示方法では、例えば、前記相関度 Q_j が最も小さい投影点 T_j もしくはその近傍に物体の表面があるという推定をせず、各投影点 T_j に、前記相関度 Q_j の大きさの割合に応じた確率で物体の表面が存在すると考える。このとき、前記投影点 T_j もしくはその近傍に物体の表面が存在する確率(存在確率)を β_j とすると、前記観察者の視点Pから引いた直線 lp 上の投影点、すなわち前記観察者の視点Pから見て重なり合う投影点 T_j の存在確率 β_j は、下記数式41及び数式42のような条件を満たすことが必要である。

[0226] [数41]

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

[0227] [数42]

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

さらに、投影点 T_j のうち、物体表面が存在する確率が高い投影点ほど、前記存在確率 β_j が1に近い値をとるようにするためには、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j に対して、例えば、下記数式43及び数式44で表される変換処理を行って、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定する。

[0228] [数43]

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

[0229] [数44]

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

ただし、前記存在確率 β_j は、前記数式41及び数式42の条件を満たしていればよい。そのため、前記存在確率 β_j は、前記数式43及び数式44で表される変換処理以外の方法で決定してもよい。

[0230] このような処理により、前記各投影点 T_j もしくはその近傍に物体の表面が存在する確率 β_j を決定すると、例えば、図25に示すように、前記観察者の視点 P から引いたある直線 lp 上の各投影点 T_j に対する色情報 K_j 及び存在確率 β_j が決定する。

[0231] こうして推定した物体の3次元形状を用いて、例えば、輝度変調型のDFDに前記物体の3次元像を表示する場合は、複数の表示面のうちの、前記各投影点 T_j に相当する画素を、色情報 K_j 、前記存在確率 β_j に応じた輝度で表示する。こうすると、前記直線 lp 上の各投影点 T_j の相関度 Q_j が、例えば、図23(b)に示したように、ある投影点 T_m の相関度 Q_m の値だけ、他の相関度の値と著しく異なる場合、その投影点 T_m の存在確率 β_m だけが大きな値をとる。そのため、前記投影点 T_m に相当する画素の輝度だけが大きくなり、前記観察者の視点 P から前記投影面 L_j を見ている観察者の見た目に明瞭にうつる。

[0232] 一方、前記直線 lp の各投影点 T_j の相関度 Q_j が、例えば、図24(b)に示したようになり、どの投影点 T_j の近傍に物体の表面があるか推定することが難しい場合、同程度の

存在確率になる投影点が複数個現れる。そのため、複数の投影面 L_j 上の投影点 T_j に相当する画素が同程度の輝度で表示され、前記観察者の視点 P から前記投影面 L_j を見ている観察者の見た目には、距離感が曖昧にうつる。しかしながら、観察者の視点 P から見て重なる複数の投影点に物体の表面像を表示するので、物体表面までの距離の推定を誤ることで生じるような不連続なノイズにはならない。そのため、表示する物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な物体の3次元像を表示することができる。

- [0233] また、前記手順で推定した物体の3次元形状を用いて、任意の視点から前記物体を見たときの二次元画像(任意視点画像)を表示する場合には、例えば、前記観察者の視点 P から引いた直線 lp 上の各投影点 T_j の色情報 K_j を前記存在確率 β_j の割合で混合した色情報を、前記直線 lp と表示する画像の画像面との交点の色情報とすればよい。
- [0234] また、前記存在確率 β_j を決定するときに、物体の表面が存在する確率の確率密度分布をある程度想定することができるのであれば、前記数式43及び数式44で決定した前記各投影点 T_j の存在確率 β_j に、前記物体の形状分布に基づいた統計処理を行うことで、前記各視点 C_j で撮影した画像のノイズ(雑音)による推定の誤差を低減することができる。ここで、前記統計処理を行う前の存在確率と処理を行ったあとの存在確率を区別するために、前記統計処理を行う前の存在確率、すなわち前記数式43及び数式44から求めた存在確率 β_j を、評価基準値 v_j とする。そして、前記評価基準値 v_j に対して統計処理を行ったあとに得られる値を存在確率 β_j とする。
- [0235] 前記数式43及び数式44から求めた評価基準値 v_j に対して行う統計処理では、まず、例えば、図26(a)に示すように、前記評価基準値 v_j の分布に、物体の存在確率の確率密度分布を当てはめ、存在確率の分布関数 $p(l)$ を求める。このとき、前記確率密度分布が、例えば、正規分布(ガウス分布)に従うとすれば、前記存在確率の分布関数 $p(l)$ は、下記数式45のように表すことができる。

[0236] [数45]

$$p(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(l - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

ここで、 μ は平均値、 σ は分散を表すパラメータであり、前記評価基準値 v_j を用いて、下記数式46及び数式47のように推定することができる。

[0237] [数46]

$$\mu = \sum_{j=1}^M \beta_j l_j$$

[0238] [数47]

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^M (\beta_j l_j - \mu)^2$$

こうして存在確率の分布関数 $p(l)$ を求めたら、例えば、下記数式48を用いて、前記存在確率 β_j を決定する。

[0239] [数48]

$$\beta_j = \int_{l_j^-}^{l_j^+} p(l) dl$$

ここで、 l_j^- 及び l_j^+ は、図26(b)に示すように、距離 l_j にある投影面 L_j に物体の表面が存在するとみなす距離の下限值及び上限値であり、例えば、下記数式49及び数式5

0で与える。

[0240] [数49]

$$l_j^- = \frac{l_{j-1} + l_j}{2}, \quad l_j^- = -\infty$$

[0241] [数50]

$$l_j^+ = \frac{l_j + l_{j+1}}{2}, \quad l_M^+ = \infty$$

前記数式45から数式50の関係を用いて求めた前記存在確率 v_j に基づいて、前記DFDに物体の3次元像を表示したり、任意の視点から見た2次元画像を表示したりすることで、もとの画像、すなわち前記視点 C_i から前記物体を撮影した画像のノイズの影響を低減した画像を表示することができる。

[0242] また、例えば、図24(a)及び図24(b)に示したように、物体のオクルージョン(遮蔽)により、ある投影点 T_j に対する対応点 $G_{i,j}$ の中に、他の対応点とは異なる物体がうつつているような場合、その対応点を除外して相関度 Q_j を求めれば、比較的信頼性の高い推定をすることができると考えられる。ここで、図24(a)のような場合を考えてみると、いままで説明した方法では、前記観察者の視点 P から引いた直線 lp' 上の投影点 T'_m の相関度 Q'_m を求めるときに、前記物体 A の表面でなく、物体 B の表面がうつつている対応点 $G_{i,m}$ も用いて求める。そのため、前記数式40から求めた相関度 Q'_m は大きくなり、前記直線 lp' で物体の表面が存在する距離を推定することが難しかった。

[0243] そこで、例えば、図27(a)に示すように、前記物体 B の表面がうつつている対応点 $G_{i,m}$ を除外して前記投影点 T_m に関する相関度 Q_m を求める。このとき、図27(a)に示した例では、前記投影点 T_m に対する対応点 $G_{i+1,m}$ 、 $G_{i+2,m}$ を用いて相関度 Q_m を求めることになる。こうすると、前記対応点 $G_{i+1,m}$ 、 $G_{i+2,m}$ には、前記物体 A の表面の非常に近い点

がうつっているので、前記数式40から相関度 Q'_j を求めれば、図27(b)に示すように、投影点 T'_m の相関度 Q'_m だけが他の投影点の相関度よりも小さいような分布になる。そのため、オクルージョンの影響を低減し、実際の物体の表面形状に近い3次元形状を推定することができる。

- [0244] またこのとき、前記相関度 Q_j を求めるための対応点 $G_{i,j}$ (視点 C_i)の組み合わせ Ξ を何通りか設定しておき、前記観察者の視点 P から引いたある直線 lp 上の各投影点 T_j の相関度 Q_j を、全ての組み合わせ Ξ の場合について求め、その結果を統合して、最終的な存在確率を求める。一般に、対応点 $G_{i,j}$ (視点 C_i)の組み合わせを Ξ_h ($h \in H$)とし、前記各組み合わせ Ξ_h を用いて求めた前記直線 lp 上の存在確率の分布関数を p_h (l)、前記各分布関数 $p_h(l)$ から求めた存在確率を $\beta_{j,h}$ とすれば、統合された存在確率 β_j は下記数式51から求めることができる。

[0245] [数51]

$$\beta_j = \frac{\sum_{h \in H} \beta_{j,h}}{\sum_{h \in H} 1}$$

また、前記投影点 T_j の色情報 K_j は、例えば、前記組み合わせ組み合わせ Ξ_h 毎に求めた色情報 $K_{j,h}$ 及び存在確率 $\beta_{j,h}$ から、例えば、下記数式52を用いて決定できる。

[0246] [数52]

$$K_j = \frac{\sum_{h \in H} \beta_{j,h} K_{j,h}}{\sum_{h \in H} \beta_{j,h}}$$

こうすると、例えば、図28に示すように、ある組み合わせ Ξ_h で求めた物体表面まで

の距離の推定の信頼性が高く明瞭なピークが現れる分布関数 $p_h(l)$ が、別の組み合わせ Ξ_h で求めた物体表面までの距離の推定の信頼性が低い分布関数 $p_h(l)$ の影響を受けにくい。そのため、全体として前記観察者の視点から表示する物体上の各点までの距離の推定の信頼性が向上する。

[0247] (実施例2-1)

図29乃至図34は、本発明による実施例2-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図29は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図30は図29における投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図、図31は図30における存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図、図32はカメラセットの設定例を示す図、図33、図34(a)、及び図34(b)は投影面の情報を表示面の情報に変換する方法を説明する図である。

[0248] 本実施例2-1の画像生成方法は、複数の視点から撮影した画像を用いて、前記画像に写っている物体の3次元形状を取得し、取得した前記物体の3次元形状に基づいて、例えば、DFDのように複数の画像表示面を持つ画像表示手段の各画像表示面に表示する2次元画像を生成する方法である。

[0249] 前記画像生成方法は、例えば、図29に示すように、視点 C_i から撮影した物体の画像を取得するステップ1と、観察者の視点 P を設定するステップ2と、前記物体の3次元形状を取得するステップ3と、取得した3次元形状を表現する投影面上の点(投影点)の色情報及び存在確率を画像表示面上の点(表示点)の色情報及び存在確率に変換して前記画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップ4と、画像表示面上の表示点を色情報、存在確率に応じた輝度または透明度で表示させるステップ5とを有する。

[0250] また、前記ステップ3は、例えば、図29に示すように、多層構造の投影面 L_j を設定するステップ301と、物体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップ302と、前記基準視点から見て重なる各投影面 L_j 上の投影点 T_j の組でなる投影点列及び前記投影点列の各投影点 T_j に対応する取得した各画像上の対応点 G_{ij} を設定するステップ303と、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j を求めるための視点 C_i の組み合わせ(以下、カメラセットという) Ξ_h を決定するステップ304と、前記投影点 T_j の色情報

及び存在確率を格納する配列を確保するステップ305と、前記投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するステップ306とを有する。

[0251] また、前記ステップ306は、例えば、図30に示すように、前記投影点列を初期化するステップ30601と、前記カメラセット Ξ_h 及び投票データを初期化するステップ30602と、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化するステップ30603と、前記投影点 T_j の色情報を決定するステップ30604と、前記投影点 T_j に対する対応点 G_{ij} のうち、前記カメラセット Ξ_h の組み合わせに含まれる対応点を用いて相関度 $Q_{j,h}$ を算出するステップ30605と、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点 T_j に対して前記ステップ30604及びステップ30605の処理を繰り返し行わせるステップ30606と、前記カメラセット Ξ_h で求めた各相関度 $Q_{j,h}$ を投票するステップ30607と、カメラセット Ξ_h を更新し、全てのカメラセットで前記ステップ30604からステップ30607までの処理を繰り返し行わせるステップ30608と、前記ステップ30607で投票した相関度 $Q_{j,h}$ に基づいて前記各投影点 T_j の存在確率を決定するステップ30609と、投影点列を更新し、全ての投影点列に対して前記ステップ30602からステップ30609までの処理を繰り返し行わせるステップ30610とを有する。

[0252] またさらに、前記ステップ30609は、図31に示すように、カメラセット Ξ_h を初期化するステップ30609aと、前記カメラセット Ξ_h を用いて求めた相関度 $Q_{j,h}$ から評価基準値 $v_{j,h}$ を算出するステップ30609bと、前記評価基準値 $v_{j,h}$ の統計処理により存在確率の分布関数 $p_h(l)$ を決定するステップ30609cと、前記存在確率の分布関数から、前記各投影点 T_j の存在確率 $\beta_{j,h}$ を決定するステップ30609dと、前記カメラセット Ξ_h を更新し、前記ステップ30609bからステップ30609dまでの処理を繰り返し行わせるステップ30609eと、前記各カメラセット Ξ_h で求めた存在確率 $\beta_{j,h}$ を統合して、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定するステップ30609fとを有する。

[0253] 本実施例2-1の画像生成方法を用いて、例えば、前記DFDの各画像表示面に表示する2次元画像を生成するときには、まず、複数の異なる視点 C_i ($i=1,2,\dots,N$)に設置したカメラで物体を撮影した画像を取得する(ステップ1)。このとき、前記視点 C_i は画像を撮影するカメラの設置位置とし、例えば、図21に示したように、ある1つの直線上に1次元的に並んでいるとする。またこのとき、前記カメラの視点 C_i は、ある1つの直

線上に限らず、複数の直線上あるいは曲線上に1次元的に並んでいてもよい。また、1次元的ではなく、平面上あるいは曲面上に2次元格子状に並んでいてもよい。またこのとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例2-1では、画像上の各点(画素)が赤(R), 緑(G), 青(B)の3原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。

[0254] 次に、コンピュータ等の画像生成装置上の仮想空間に、DFDに表示する物体の3次元像(画像)を観察する観察者の視点Pを設定する(ステップ2)。

[0255] 次に、前記画像を生成するために用いる、物体の3次元形状を取得する(ステップ3)。前記ステップ3では、まず、前記仮想空間上に、前記物体の3次元形状(表面形状)を推定するための投影面 L_j を設定する(ステップ301)。このとき、前記投影面 L_j は、例えば、図21に示したように、XY平面と平行な平面として設定する。またこのとき、前記投影面 L_j の設定間隔は、例えば、画像を表示するDFDの画像表示面の間隔と一致させてもよいし、一致させなくてもよい。

[0256] 次に、前記物体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する(ステップ302)。前記基準視点は、例えば、観察者の視点としても良いし、観察者の視点以外の3次元空間上の任意の点に決定しても良い。

[0257] 次に、前記観察者の視点Pあるいは基準視点から見て重なる各投影面 L_j 上の投影点 T_j の組でなる投影点列、及び前記各投影点 T_j と対応する前記取得した画像上の対応点 $G_{i,j}$ を設定する(ステップ303)。

[0258] このとき、前記投影点 T_j は、前記仮想空間(3次元空間)上の点 (X_j, Y_j, Z_j) で表され、視点 C_i から撮影した画像の画像面上に2次元のxy座標系を考えると前記対応点 $G_{i,j}$ の座標は $(x_{i,j}, y_{i,j})$ で与えられる。このとき、前記対応点 $G_{i,j}$ の座標 $(x_{i,j}, y_{i,j})$ は、前記投影点 (X_j, Y_j, Z_j) を前記視点 C_i から撮影した画像の画像面上に射影して求める。この射影は、第1の実施の形態で説明した一般的な3行4列の変換行列を用いればよい。

[0259] また、コンピュータのような画像生成装置を用いる場合、扱う画像はいわゆるデジタル画像であり、装置のメモリ上の2次元配列で表現されている。以下、前記配列の位置を表す座標系をデジタル画像座標系といい、その位置は (u, v) で表す。ここ

で、例えば、横640画素、縦480画素のデジタル画像を考えると、前記デジタル画像上の各画素の位置は、0から639までの整数値のいずれかをとる変数 u と、0から479までの整数値のいずれかをとる変数 v により示される。そして、その点の色情報は、そのアドレスでの赤(R)、緑(G)、青(B)の情報を8ビット等に量子化したデータで与えられる。

[0260] このとき、3次元の仮想空間内での前記対応点 G_{ij} の座標 (x_{ij}, y_{ij}) と、前記デジタル画像座標系 (u, v) は、1対1で対応付けされ、例えば、数式53のような関係を持つ。

[0261] [数53]

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

なお、前記数式53は、例えば、デジタル画像座標系の u 軸を、 X 軸と平行にとっているとする。また前記数式53において、 k_u 、 k_v はそれぞれ、仮想空間上の (x, y) 座標系を基準にした前記デジタル画像座標系の u 軸と v 軸の単位長、 θ は u 軸と v 軸のなす角である。

[0262] そこで、前記ステップ303では、前記投影点 T_j の座標 (X_j, Y_j, Z_j) と前記デジタル画像座標 (u_{ij}, v_{ij}) の対応付けを行う。この対応付けは、たとえば全ての (u_{ij}, v_{ij}) に対して (X_j, Y_j, Z_j) の値をテーブルとして与えておいてもよいし、代表的な (u_{ij}, v_{ij}) に対してのみ (X_j, Y_j, Z_j) の値を設定し、その他の点は、例えば、線形補完等の補完処理で求めてもよい。

[0263] また、前記デジタル画像座標系では (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では、断りのない限り連続値をとることとし、前記2次元配列へアクセスするときに適当な離散化処理を行うものとする。

[0264] 前記ステップ303の処理が済んだら、次に、相関度 Q_j を求めるときに用いるカメラの視点 C_i の組み合わせ(カメラセット) E_h を決定する(ステップ304)。ここで、例えば、視

点 C_i 、すなわちカメラが、図32に示すように、 3×3 の格子状に設置されているとすれば、前記カメラセット Ξ_h は、例えば、 $\Xi_1 = \{C_1, C_2, C_3, C_5\}$, $\Xi_2 = \{C_3, C_5, C_6, C_9\}$, $\Xi_3 = \{C_5, C_7, C_8, C_9\}$, $\Xi_4 = \{C_1, C_4, C_5, C_7\}$ の4つに決定する。

[0265] なお、前記カメラセット Ξ_h の決定方法は任意であり、図32に示した例では、 Ξ_1 , Ξ_2 , Ξ_3 , Ξ_4 だけに限らず、他のカメラセットを用意してもよい。またこのとき、前記カメラセット Ξ_h は、前記カメラ(視点 C_i)の設置状況に合わせてあらかじめ用意しておいてもよいし、観察者が指定してもよい。

[0266] 前記ステップ304の処理が済んだら、次に、例えば、前記画像生成装置のメモリ(記憶手段)上に、前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び物体が存在する確率 β_j の情報を格納する配列を確保する(ステップ305)。このとき、情報を格納する配列は、前記投影点 T_j の各情報 K_j , β_j は、例えば、赤(R), 緑(G), 青(B)の色情報及び物体が存在する確率を、例えば、8ビットずつ持たせるような配列を確保する。

[0267] 前記ステップ305の処理が済んだら、次に、前記取得した複数枚の画像を用いて、前記各投影点 T_j の色情報及び物体が存在する確率を決定する(ステップ306)。前記ステップ306では、例えば、ある投影点列に対して、指定したカメラセット Ξ_h を用いて前記投影点列上の各投影点 T_j の色情報 $K_{j,h}$ 及び相関度 $Q_{j,h}$ を求める処理を行い、その処理を全てのカメラセット Ξ_h で繰り返すという処理を行う。そして、その処理を全ての投影点列に対して繰り返し行う。

[0268] そこで、前記ステップ306では、まず、図30に示すように、投影点列を初期化する(ステップ30601)。

[0269] 次に、カメラセット Ξ_h 及び相関度の投票データを初期化する(ステップ30602)。

[0270] 次に、処理の対象となっている投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする(ステップ30603)。

[0271] 次に、選択されているカメラセット Ξ_h に含まれる対応点 $G_{i,j}$ の色情報から、前記投影点 T_j の色情報 $K_{j,h}$ を決定する(ステップ30604)。このとき、前記投影点 T_j の色情報 $K_{j,h}$ は、例えば、前記カメラセット Ξ_h に含まれる対応点 $G_{i,j}$ の色情報 $K_{i,j}$ の平均値にする。

[0272] 次に、前記投影点 T_j と、前記選択されているカメラセット Ξ_h に含まれる対応点 $G_{i,j}$ の

相関度 $Q_{j,h}$ を算出する(30605)。このとき、前記相関度 $Q_{j,h}$ は、例えば、前記数式40を用いて算出する。

[0273] 次に、投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で前記ステップ30604及びステップ30605の処理を行ったか判定する(ステップ30606)。ここで、前記ステップ30604及びステップ30605の処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ30604に戻って、処理を繰り返す。

[0274] 処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で前記ステップ30604及びステップ30605の処理を行ったら、その結果、すなわち選択されたカメラセット Ξ_h に含まれる対応点 $G_{i,j}$ から求めた色情報 $K_{j,h}$ 及び相関度 $Q_{j,h}$ を投票する(ステップ30607)。

[0275] 前記ステップ30607の処理が済んだら、次に、前記カメラセット Ξ_h を更新し、処理の対象となっている投影点列に対して、前記ステップ30604からステップ30607までの処理を行っていないカメラセットがあるか判定する(ステップ30608)。ここで、前記ステップ30604からステップ30607までの処理を行っていないカメラセットがあれば、前記ステップ30603に戻って、処理を繰り返す。

[0276] 処理の対象となっている投影点列に対して、全てのカメラセット Ξ_h で、前記ステップ30604からステップ30607までの処理を行ったら、前記ステップ30607で投票した色情報 $K_{j,h}$ 及び相関度 $Q_{j,h}$ から、投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を決定する(ステップ30609)。

[0277] 前記ステップ30609では、例えば、図31に示すように、まず、カメラセット Ξ_h を初期化する(ステップ30609a)。

[0278] 次に、カメラセット Ξ_h を用いて算出した各投影点 T_j の相関度 $Q_{j,h}$ から、例えば、評価基準値 $v_{j,h}$ を算出する(ステップ30609b)。前記評価基準値 $v_{j,h}$ は、例えば、前記数式43及び数式44で表される変換処理で求める。

[0279] 次に、前記評価基準値 $v_{j,h}$ の統計処理を行い、前記カメラセット Ξ_h を用いた場合の存在確率の分布関数 $p_h(l)$ を求める(ステップ30609c)。前記分布関数 $p_h(l)$ は、例えば、前記数式45、数式46、数式47を用いて求める。

[0280] 次に、前記カメラセット Ξ_h を用いた場合の存在確率の分布関数 $p_h(l)$ から、前記カメ

ラセット Ξ_h を用いた場合の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率(存在確率) $\beta_{j,h}$ を決定する(ステップ30609d)。前記存在確率 $\beta_{j,h}$ は、例えば、前記数式48, 数式49, 数式50を用いて求める。

[0281] 次に、前記カメラセット Ξ_h を更新し、処理の対象となっている投影点列に対して、前記ステップ30609bからステップ30609dまでの処理を行っていないカメラセット Ξ があるか判定する(ステップ30609e)。ここで、前記ステップ30609bからステップ30609dまでの処理を行っていないカメラセット Ξ があれば、前記ステップ30609bに戻って、処理を繰り返す。

[0282] 処理の対象となっている投影点列に対して、前記ステップ30609bからステップ30609dまでの処理を行ったら、その処理結果を統合して、前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を決定する(ステップ30609f)。このとき、前記色情報 K_j は、例えば、前記数式52を用いて求める。また、前記存在確率 β_j は、例えば、前記数式51を用いて求める。

[0283] 前記ステップ30609fの処理が終了すると、前記ステップ30609の処理が終了する。そして次に、投影点列を更新し、前記ステップ30602からステップ30609までの処理を行っていない投影点列があるか判定する(ステップ30610)。ここで、前記ステップ30602からステップ30609までの処理を行っていない投影点列があれば、ステップ30602に戻って、処理を繰り返す。

[0284] 全ての投影点列に対して、前記ステップ30602からステップ30609までの処理を行ったら、前記ステップ306(ステップ3)の処理が終了し、前記物体の3次元形状を取得することができる。

[0285] 前記ステップ3の処理が終わり、前記物体の3次元形状が得られたら、次に、前記物体の3次元形状に基づいて、前記DFDの各画像表示面上に表示する2次元画像を生成する。前記2次元画像を生成するときには、例えば、図33に示すように、前記物体の形状を取得した仮想空間上に前記2次元画像を生成するための画像生成面 LD_r ($r=1,2,\dots,R$)を設定する。

[0286] ここでまず、例えば、図33に示すように、前記投影面 L_j の設定枚数及び間隔と前記画像生成面 LD_r の数及び間隔が一致する場合を考える。この場合、前記画像生成

面 LD_r の表示点 A_r の色情報 KD_h 及び存在確率 γ_r は、前記表示点 A_r と一致する投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j とすればよい。

[0287] また、前記投影面 L_j の設定間隔は、前記画像生成面 LD_r の設置間隔と一致させる必要はなく、前記投影面 L_j の設定枚数と前記画像生成面 LD_r の設定枚数を一致させる必要もない。つまり、前記投影面 L_j の設定の仕方によっては、例えば、図34(a)に示すように、前記投影面 L_j の設置間隔と前記画像生成面 LD_r の設置間隔が一致していない場合もある。このような場合、前記観察者の視点 P から引いた直線 lr と前記各画像生成面 LD_r の交点(表示点) A_r の色情報 KD_r 及び存在確率 γ_r は、次のような手順で求める。

[0288] まず、前記各表示点 A_r の色情報 KD_r は、例えば、前記直線 lp 上の投影点 T_j であり、その表示点 A_r (画像生成面 LD_r)が最も近い表示点(画像生成面)となる投影点 T の色情報 K の平均値にする。このとき、前記表示点 A_r の色情報 KD_r は、平均値の代わりに、前記表示点 A_r からもっとも近い投影点 T の色情報 K としてもよい。

[0289] 一方、前記各表示点 A_r の存在確率 γ_r は、その表示点 A_r (画像生成面 LD_r)が最も近い表示点(画像生成面)となる投影点 T の存在確率 β を足し合わせた値とする。このとき、ある画像生成面 LD_r が最も近い画像生成面となる投影面 L_j の集合を $\{L_j \mid j \in R\}$ とおくと、前記画像生成面 LD_r 上の表示点 A_r の存在確率 γ_h は、前記各投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式54で与えることができる。

[0290] [数54]

$$\gamma_h = \sum_{j \in J} \beta_j$$

ここで、図34(a)に示した場合を考えると、前記画像生成面 LD_1 が最も近い画像生成面になるのは、投影面 L_1, L_2, L_3 である。そのため、前記表示点 A_r の色情報 KD_r は、例えば、投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報 K_1, K_2, K_3 の平均値にする。また、前記表示点 A_r の存在確率 γ_r は、前記投影点 T_1, T_2, T_3 の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ の和にする。同

様に、前記画像生成面 LD_2 上の表示点 A_2 の色情報 KD_2 は、例えば、投影点 T_4, T_5 の色情報 K_4, K_5 の平均値にする。また、前記表示点 A_2 の存在確率 γ_2 は、前記投影点 T_4, T_5 の存在確率 β_4, β_5 の和にする。

[0291] また、例えば、図34(b)に示すように、前記画像生成面 D の設置間隔と前記投影面 L_j の設定間隔が異なり、2枚の連続した画像生成面 LD_1, LD_2 の間に2枚の投影面 L_1, L_2 が設定されている場合、前記各画像生成面 LD_1, LD_2 の表示点 A_1, A_2 の存在確率 γ_1, γ_2 は、前記各投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を、前記投影点 T_j から各画像生成面 LD_1, LD_2 までの距離の比に応じて分配してもよい。このとき、一般に、前記画像生成面 LD_1, LD_2 の間に複数枚の投影面 L の集合を $\{L_j \mid j \in J\}$ とすると、前記画像生成面 LD_r 上の表示点 A_r の存在確率 γ_r は、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式55で与えることができる。

[0292] [数55]

$$\gamma_h = \sum_{j \in J} w_{j,r} \beta_j$$

ここで、 $w_{j,r}$ は、投影面 L_j の画像生成面 LD_r に対する寄与の度合いを表す係数である。

[0293] ここで、例えば、図34(b)に示すように、2枚の画像生成面 LD_1, LD_2 の間に、投影面 L_1, L_2 が設定されている場合を考える。このとき、投影面 L_1 から前記各画像生成面 LD_1, LD_2 までの距離がそれぞれ B_1, B_2 であれば、前記投影面 L_1 の前記各画像生成面 LD_1, LD_2 に対する寄与の度合い $w_{1,1}, w_{1,2}$ はそれぞれ、下記数式56で与えられる。

[0294] [数56]

$$w_{1,1} = \frac{B_2}{B_1 + B_2}, \quad w_{1,2} = \frac{B_1}{B_1 + B_2}$$

同様に、投影面 L_2 から前記各画像生成面 LD_1 , LD_2 までの距離がそれぞれ B_3 , B_4 であれば、前記投影面 L_2 の前記各画像生成面 LD_1 , LD_2 に対する寄与の度合い $w_{2,1}$, $w_{2,2}$ はそれぞれ、下記数式57で与えられる。

[0295] [数57]

$$w_{2,1} = \frac{B_4}{B_3 + B_4}, \quad w_{2,2} = \frac{B_3}{B_3 + B_4}$$

この結果、前記画像生成面 LD_1 の表示点 A_1 の存在確率 γ_1 、及び前記画像生成面 LD_2 の表示点 A_2 の存在確率 γ_2 はそれぞれ、下記数式58のようになる。

[0296] [数58]

$$\gamma_1 = w_{1,1} \beta_1 + w_{2,1} \beta_2, \quad \gamma_2 = w_{1,2} \beta_1 + w_{2,2} \beta_2$$

以上のような手順により、前記ステップ4の処理を行うことで、前記DFDの各画像表示面に表示する2次元画像が得られる。そして、DFDの各画像表示面上の点(画素)を、前記各画像生成面 LD 上の各点に割り当てられた色情報 A で表示させる(ステップ5)。このとき、前記DFDが輝度変調型であれば、前記各画像生成面 LD_r の各表示点 A_r の色情報 KD_r を、前記存在確率 γ_r に応じた輝度で表示させればよい。また、前記DFDが透過型の場合は、例えば、各表示点 A_r の透過度を前記存在確率 γ_r に応じた透過度に設定して表示すればよい。

[0297] このように、図29に示したステップ1からステップ5の処理を行って、前記DFD物体

の3次元像を表示した場合、前記原理のところで説明したように、物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な3次元像を表示することができる。

[0298] 図35乃至図37は、本実施例2-1の画像生成方法を適用した装置及びシステムの概略構成を示す模式図であり、図35は画像生成装置の構成例を示すブロック図、図36は画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図、図37は画像生成装置を用いた画像表示システムの他の構成例を示す図である。

図35において、6は画像生成装置、601は被写体画像取得手段、602は基準視点設定手段、603は投影面設定手段、604は投影面情報格納領域確保手段、605は色情報／存在確率決定手段、606は投影面情報－表示面情報変換手段、607は画像出力手段、7は画像表示手段(DFD)、8は被写体画像撮影手段、9は観察者視点入力手段である。

[0299] 本実施例2-1の画像生成方法を適用した画像生成装置6は、例えば、図35に示すように、撮影条件が異なる複数枚の被写体画像を取得する被写体画像取得手段601と、生成する画像を見る観察者の視点を設定する観察者視点設定手段602と、存在確率を決定するための投影面、投影点列、対応点、カメラセット等を設定する投影面等設定手段603と、投影面上の点(投影点)の色情報及び存在確率を格納する領域を確保する投影面情報格納領域確保手段604と、前記投影点の色情報及び前記投影点に物体が存在する確率(存在確率)を決定する色情報／存在確率決定手段605と、前記投影点の色情報及び存在確率の情報を表示面の色情報及び存在確率に変換する投影面情報－表示面情報変換手段606と、画像出力手段607とを備える。このとき、前記画像出力手段607から出力された画像は、例えば、DFDのように、複数の重なり合う表示面を備える画像表示手段7で表示される。

[0300] また、前記被写体画像取得手段601は、被写体画像撮影手段(カメラ)8で撮影された被写体(物体)の画像を取得する。なお、取得する画像は、前記被写体画像撮影手段8で撮影した画像を直接取得してもよいし、前記被写体画像撮影手段8で撮影した画像が記録された、磁氣的、電氣的、光学的な記録媒体から間接的に取得してもよい。

[0301] また、前記観察者視点設定手段602は、例えば、観察者が、マウスやキーボード等

の画像条件入力手段9を用いて入力した情報に基づいて、前記観察者の視点Pから前記画像表示手段7までの距離や視線等の画像生成面LDとの相対的な位置関係を設定する。また、前記画像条件入力手段9は、前記観察者の姿勢や視線を検知して、その姿勢や視線に応じた情報を入力する手段であってもよい。

[0302] また、前記投影面等設定手段603は、例えば、図22に示したように、視点(カメラ) C_i からの距離が l_j ($j=1,2,\dots,M$)の平行な投影面 L_j を設定する。また、前記投影面等設定手段603では、前記観察者視点設定手段602で設定した観察者の視点Pから見て重なる各投影面 L_j 上の投影点 T_j の組でなる投影点列や、前記投影点 T_j に対応する各画像上の対応点 G_{ij} も設定する。またこのとき、前記投影面等設定手段603では、前記画像条件入力手段9により入力された条件に基づいたカメラセット E_h を設定してもよい。

[0303] また、前記投影面情報格納領域確保手段604は、各投影面上の各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納する領域を、例えば、装置内に設けられたメモリ上に確保する。

[0304] また、前記色情報／存在確率決定手段605は、前述のような原理に基づいて、前記投影点 T_j と対応する画像上の対応点 G_{ij} の色情報から前記投影点 T_j の色情報 K_j を決定するとともに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率 β_j を決定する。

[0305] また、前記投影面情報－表示面情報変換手段606では、本実施例2-1で説明したように、前記投影面の色情報及び存在確率を前記画像生成面、すなわち前記画像表示手段7の表示面に表示する画像を生成する面上の点(表示点)の色情報及び輝度分配率に変換する。

[0306] 前記画像生成装置6は、本実施例2-1で説明した前記ステップ1から前記ステップ5までの処理を行って、前記DFDに表示する画像を生成する。すなわち、前記画像生成装置6では、従来のような物体の正確な3次元形状を求める処理を行わなくてよい。そのため、高い処理能力がない装置でも、前記DFDに表示する画像を高速に、かつ、容易に生成することができる。

[0307] また、前記画像生成装置6は、例えば、コンピュータと前記コンピュータに実行させるプログラムによっても実現することができる。その場合、本実施例2-1で説明した処

理手順に相当する命令が記述されたプログラムを前記コンピュータに実行させればよい。またこのとき、前記プログラムは、例えば、磁氣的、電氣的、光学的な記録媒体に記録して提供してもよいし、インターネット等のネットワークを利用して提供してもよい。

[0308] また、前記画像生成装置6を用いた画像表示システムは、例えば、図36に示すような構成が考えられる。このとき、前記被写体画像撮影手段8は、観察者Userが前記画像表示手段(DFD)7を観察している空間に近い場所に設置されていてもよいし、地理的に遠隔な場所に設置されていてもよい。前記被写体画像撮影手段8が地理的に遠隔な場所に設置されている場合、撮影した画像は、インターネット等のネットワークを利用して、前記画像生成装置6に転送すればよい。

[0309] また、前記画像生成装置6を用いた画像表示システムは、図36に示したように、ある観察者Userが、ある被写体Objを観察する場合だけでなく、テレビ電話やテレビ会議といった双方向の通信システムに適用することもできる。その場合、例えば、図37に示すように、各観察者UserA, UserBがいる空間のそれぞれに、画像生成装置6A, 6B、画像表示手段(DFD)7A, 7B、被写体画像撮影手段8A, 8B、基準視点設定手段9A, 9Bを設置すればよい。そして、例えば、前記各観察者UserA, UserBがいる空間に設置された画像生成装置6A, 6Bを、インターネット等のネットワーク10で接続しておけば、観察者UserAは、被写体画像撮影手段8Bで撮影された画像から生成した観察者UserBの3次元像を前記画像表示手段7Aで観察することができる。同様に、観察者UserBは、被写体画像撮影手段8Aで撮影された画像から生成した観察者UserAの3次元像を前記画像表示手段7Bで観察することができる。

[0310] また、このような双方向の通信システムに適用する場合、前記各画像生成装置6A, 6Bが、図35に示したような構成になっている必要はなく、前記画像生成装置6A, 6Bのどちらかは、図35に示したような構成手段を備えていない一般的な通信端末であつてもよい。また、図35に示したような各構成手段が、前記画像生成装置6A, 6Bに割り振られていてもよい。

[0311] また、図37に示したように、ネットワーク10上に他の画像生成装置6Cが設けられていれば、前記観察者UserA, UserBがいる空間に、前記画像生成装置6A, 6Bが設

置されていなくても、前記ネットワーク10上の画像生成装置6Cを利用して、前記画像表示手段(DFD)7A, 7Bで表示する物体の3次元像を取得することができる。

[0312] また、図37に示した画像生成システムでは、利用者がUserA, UserBの2人であるが、さらに多数の観察者(利用者)間での通信システムにも適用できる。

[0313] また、図36及び図37では、前記被写体画像撮影手段8は、4個のカメラからなる撮影手段を示しているが、前記カメラは、2個または3個であってもよいし、5個以上であってもよい。また、前記カメラの配置は、直線または曲線上に1次元的に配置されていてもよいし、平面または曲面に2次元格子状に配置されていてもよい。

[0314] 以上説明したように、本実施例2-1の画像生成方法によれば、表示する物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な3次元像を表示することができる。

[0315] また、本実施例2-1の画像生成方法では、前記カメラセット Ξ_h を、前記ステップ304であらかじめ設定して処理を行っているが、これに限らず、例えば、プログラムの処理により、表示する画像を生成する処理を行いながら、観察者が指定した条件に合うようなカメラセットを動的に設定してもよい。このとき、例えば、観察者が、前記画像条件入力手段から、前記相関度 Q_j の分布あるいは閾値等の条件を入力し、その条件に合うようなカメラセットを探しながら前記ステップ306の処理を行えば、前記観察者が望んでいる画像に近い3次元像を表示できると考えられる。

[0316] また、本実施例2-1の画像生成方法では、画像上の点(画素)が赤(R), 緑(G), 青(B)の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記物体の3次元的な形状をする場合を例に挙げて説明したが、本実施例2-1の画像表示方法では、前記カラー画像に限らず、画像上の各点(画素)が輝度(Y), 色差(U, V)を用いた表現の白黒画像を取得し、前記物体の3次元的な形状を取得することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報(Y)を用いて、本実施例2-1で説明したような手順で3次元形状を取得し、前記2次元画像を生成すればよい。

(実施例2-2)

図38乃至図42は、実施例2-2の任意視点画像生成方法を説明するための模式

図であり、図38は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図39はレンダリングの原理を説明する図、図40は任意視点画像を生成するときに問題となる点を説明する図、図41(a)、(b)は任意視点画像を生成するときに問題となる点を解決する方法を説明する図、図42は存在確率を透明度に変換する処理手順の一例を示すフロー図である。

[0317] 前記実施例2-1では、前記ステップ3で取得した前記被写体の3次元形状を用いて、前記DFDのように複数の画像表示面を有する装置の前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成する方法を例に挙げたが、前記被写体の3次元形状モデルは、これに限らず、任意の視点から見た前記被写体の2次元画像を生成するときにも用いることができる。このとき、前記実施例2-1と異なるのは、図38に示したように、前記ステップ3の後、レンダリング、すなわち前記被写体の3次元形状を前記観察者の視点から見た2次元画像にするステップ11の処理を行う点である。このとき、前記ステップ1からステップ3で前記被写体の3次元形状を取得する処理は前記実施例2-1で説明しているとおりなので、詳細な説明は省略する。

[0318] また、本実施例2-2の任意視点画像生成方法において、レンダリングをするステップ11では、例えば、図39に示すように、前記表示する任意視点画像上の各点(画素)の色情報は、前記観察者の視点Pから見て、前記任意視点画像上の点Aと重なる投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)の色情報 K_j を混合処理して決定する。このとき、前記混合処理は、例えば、前記各投影点 T_j の色情報 K_j に前記存在確率 β_j の値で重み付けをして混合し、前記生成する画像上の点Aの色情報 K_A は、例えば、下記数式59で算出する。

[0319] [数59]

$$K_A = \sum_{j=1}^M \beta_j K_j$$

ただし、前記数式59を用いた混合処理の場合、例えば、被写体の形状や基準視

点Rと仮想視点Pの位置関係によっては、生成する画像上の点の色情報が、実際の物体の表面の色情報と大きく異なったり、有効な色空間に収まらなかったりする。ここで、実際の物体上に、図40に示すような位置関係で、2枚の投影面 L_1 , L_2 、基準視点R、仮想視点Pを重ね合わせた場合を考えてみる。このとき、前記基準視点Rから見て重なり合う投影点 T_1 , T_2 について前記実施例2-1で説明したような方法で存在確率 β_1 , β_2 を決定すると、 β_1 はほぼ0になり、 β_2 はほぼ1になる。同様に前記基準視点Rから見て重なり合う投影点 T'_1 , T'_2 について前記実施例2-1で説明したような方法で存在確率 β'_1 , β'_2 を決定すると、 β'_1 はほぼ1になり、 β'_2 はほぼ0になる。

[0320] このとき、前記仮想視点Pの画像面の点Aにおける色情報 K_A は、前記数式59を用いると、前記仮想視点Pからみて前記画像面上の点Aと重なる投影点 T'_1 , T'_2 の色情報 K'_1 , K'_2 を、前記存在確率 β'_1 , β'_2 に応じた重み付けで加算することで求まる。そうすると、今、 β'_1 , β'_2 ともにほぼ1になるので、前記点Aの色情報 K_A は $K_A = K'_1 + K'_2$ になる。

[0321] しかしながら、前記仮想視点Pから前記物体Objを見たときには、投影点 T'_1 は、投影点 T'_2 により遮蔽されているので、画像面上の点Aにおける本来の色情報は $K_A = K'_2$ である。つまり、生成された画像上の点Aの色情報 K_A は、本来の色情報よりも K'_1 の分だけ(R, G, B)の各成分の輝度が上がってしまう。

[0322] またこのとき、前記投影点 T'_1 , T'_2 の色情報 K'_1 , K'_2 の各成分が大きな輝度を持つ場合、点Aの色情報 K_A は有効な色空間の範囲を超えてしまう。そのため、有効な色情報の範囲内に収まるようにするクリッピング処理が必要となる。

[0323] そこで、このような問題を解決するために、例えば、前記投影点の存在確率に基づいて、各投影点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する。このとき、前記生成する画像における各点の色情報を得るための混合処理は、前記生成する画像の視点から遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを前記透明度に応じた比率で内分して得る。またこのとき、前記混合処理により得られる色情報は、ある段階での色情報とその次の色情報の内分である。

[0324] 前記色情報の混合処理の原理を説明するために、例えば、色空間 V に、図41(a)に示すように、投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)、投影点 T_j 、赤(R)、緑(G)、青(B)の成分を持ち投影点の色情報を表すベクトル K_j が設定されている場合を考える。このとき、前記色空間 V は、下記数式60で表されとする。

[0325] [数60]

$$K_j \in V, V \equiv \{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 1, 0 \leq G \leq 1, 0 \leq B \leq 1\}$$

また、前記投影点 T_j の透明度 α_j は、下記数式61の条件を満たすように設定されているとする。

[0326] [数61]

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

このとき、変数 $j=m$ までの混合処理で得られる色情報 D_m は、下記数式62及び数式63のような漸化式で表される。そして、前記仮想視点 P から見て一番手前の投影面 L_M 、すなわち変数 $j=M$ まで混合したときの色情報 D_M が、前記生成する画像の画像面上の点 A における色情報 K_A となる。

[0327] [数62]

$$D_m = \alpha_m K_m + (1 - \alpha_m) D_{m-1}$$

[0328] [数63]

$$D_1 = \alpha_1 K_1$$

またこのとき、前記数式61及び数式62の関係から、前記色情報 D_m は、図41(b)に示すように、色空間 V においてベクトル K_m と色情報 D_{m-1} の内分点である。そのため、前記色情報 D_m は、 $K_m \in V$, $D_{m-1} \in V$ ならば $D_m \in V$ となる。

[0329] すると、第1の実施の形態でも説明したとおり、前記数式60及び数式61の条件を満たせば、前記仮想視点 P における色情報 D_M について、 $D_M \in V$ が保証される。

[0330] つまり、前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び透明度 α_j を、前記数式60及び数式61を満たすように設定すれば、前記生成する画像の点 A の色情報 D_M は、必ず適切な色空間 V に納めることができる。

[0331] このように、透明度 α_j を用いた色情報の混合処理を行うと、同一の被写体において複数の仮想視点から見た画像を生成するときに、ある1つの視点(基準視点)から投影点の色情報及び透明度を計算したとしても、その色情報及び透明度が、前記数式60及び数式61の条件を満たせば、生成する全ての画像を、適切な色情報の範囲で生成することができる。

[0332] そこで、本実施例2-2の任意視点画像の生成方法では、例えば、図30に示したステップ30609の後、あるいは前記レンダリングを行うステップ11において、前記存在確率 β_j を透明度 α_j に変換する処理を行う。

[0333] 前記存在確率 β_j を透明度 α_j に変換する処理は、例えば、図42に示すように、まず、投影点 T_j を初期化して $j=M$ とする(ステップ1101)。次に、前記投影点 T_M の透明度 α_M を $\alpha_M = \beta_M$ とする(ステップ1102)。

[0334] 次に、変数 j の値を $j=j-1$ に更新する(ステップ1103)。そして、透明度 α_{j+1} が1か否かを判別する(ステップ1104)。ここで、透明度 α_{j+1} が $\alpha_{j+1} \neq 1$ であれば、例えば、下記数式64から前記透明度 α_j を求める(ステップ1105)。

[0335] [数64]

$$\alpha_j = \frac{1}{\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m)} \beta_j$$

また、前記透明度 α_{j+1} が1である場合は、例えば、 $\alpha_j = 1$ とする(ステップ1106)。なお、前記ステップ1105で前記透明度 α_j を求めるときには、前記数式64に限らず、他の数式を用いて求めてもよい。また、詳細な説明は省略するが、前記ステップ1106においても、実際には、透明度 α_j を任意の値にすることができるので、1以外の値にしてもよい。

[0336] 次に、前記ステップ1104からステップ1106の処理を変数 $j=1$ まで行ったか判別する(ステップ1107)。ここで、処理がまだ済んでいなければ、前記ステップ1103に戻って、処理を繰り返す。

[0337] 前記ステップ1104からステップ1106の処理を変数 $j=1$ まで行ったら、前記観察者視点Pから見て画像面上の点Aと重なる投影点 T_j の前記存在確率 β_j を透明度 α_j に変換する処理が終了する。その後、前記数式62及び数式63を用いた混合処理を行い、任意視点画像上の点Aの色情報 D_M を求める。そして、この処理を、前記任意視点画像上の全ての点(画素)について行えば、前記観察者の視点Pから任意視点画像が得られる。

[0338] また、このような任意視点画像を生成する画像生成装置の基本的な構成は、前記実施例2-1で説明した画像生成装置と同様の構成であり、図35に示した投影面情報-表示面情報変換手段606に相当する手段として、前述のような混合処理を行う手段を備えればよい。そのため、装置に関する説明は省略する。

[0339] 以上説明したように、本実施例2-2の画像生成方法によれば、物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な任意視点画像を生成することができる。

[0340] また、本実施例2-2の任意視点画像表示方法でも、前記カメラセット E_h は、例えば、プログラムの処理により、表示する画像を生成する処理を行いながら、観察者が指定した条件に合うようなカメラセットを動的に設定してもよい。このとき、例えば、観察者が、前記画像条件入力手段から、前記相関度 Q_j の分布あるいは閾値等の条件を入力し、その条件に合うようなカメラセットを探しながら前記ステップ306の処理を行えば、前記観察者が望んでいる画像に近い3次元像を表示できると考えられる。

[0341] また、本実施例2-2の画像生成方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報(Y)を用いて、前記実施例2-1で説明したような処理を行って物体の3次元形状を取得した後、本実施例2-2で説明したような手順で仮想視点画像を生成すればよい。

[0342] (第2の実施の形態の効果)

上記の通り、第2の実施の形態の画像生成方法は、前記被写体の3次元形状を取得するときに、複数の投影面を設定し、前記基準視点から見て重なり合う前記各投影面上の点(投影点)に対して、物体の表面が存在する確率(存在確率)をあたえる。すなわち、従来のように前記基準視点から見て重なり合う各投影点のうちの1つの投影面上に物体の表面があるとして正確な被写体の3次元形状を取得しようとするのではなく、前記物体の表面が前記各投影点上にある存在確率で存在するとして前記被写体の3次元形状を取得する。こうすることで、前記基準視点から見てある方向の物体の表面の距離を推定するときに、その推定の信頼性が低い部分は前記各投影点の存在確率に応じた割合で曖昧に描画される。そのため、前記物体の3次元形状に基づいて画像を生成したときに、従来のような物体表面の距離の推定を誤ったときに生じる不連続なノイズを目立ちにくくすることができ、見た目に自然な画像を生成することができる。

[0343] また、前述のように、前記取得した画像の中から、前記カメラセットに含まれる数枚の画像から存在確率を算出すると、例えば、オクルージョン(遮蔽領域)の影響により、ある投影点の近傍にある物体の表面が、ある領域の視点からは見えない場合に、その視点から撮影した画像を取り除いた存在確率を算出することができ、前記各投影点の存在確率の信頼性が高くなる。

[0344] また、前記存在確率を決定するときに、前記存在確率の確率密度分布がある程度想定できる場合は、前記各投影点の相関度から評価基準値を算出し、その評価基準値に対して統計処理を行うことで得られる存在確率の分布関数に基づいて存在確率を決定してもよい。このように、統計処理を行って存在確率を決定する場合、取得した画像上のノイズ(雑音)による存在確率の信頼性の低下を防ぐことができる。

[0345] [第3の実施の形態]

次に本発明の第3の実施の形態について説明する。第3の実施の形態は、主に請求項22ー請求項29に対応する実施の形態である。第3の実施の形態では、1つの視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像(多焦点画像)をもとにして前記画像に写っている被写体の3次元的な形状を取得し、任意の視点(仮想視点)から見た前記被写体の画像を生成する。すなわち、複数の視点から被写体を撮影した複数枚の画像をもとにして被写体の3次元的な形状を取得する第1、第2の実施の形態に対し、本実施の形態は、1つの視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像を用いる点に特徴がある。なお、本実施の形態でも、前記被写体の3次元的な形状は、テクスチャマッピングの手法を用いた多層平面で表現する。なお、第3の実施の形態を説明するための図において、同一機能を有するものは、同一符号を付ける。

[0346] 図43乃至図51は、本実施の形態の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図43及び図44は投影面及び基準視点の設定例を示す図、図45は投影点の色情報及び合焦点度の決定方法を説明する図、図46乃至図48は投影点の存在確率の決定方法を説明する図、図49は仮想視点から見た画像の生成方法を説明する図、図50は本実施の形態の画像生成方法において問題となる点を説明する図、図51は本実施の形態の画像生成方法において問題となる点を解決する方法を説明する図である。

[0347] 本発明の画像生成方法では、前述のように、1つの視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像(多焦点画像)をもとにして前記画像に写っている被写体の3次元的な形状を取得し、任意の視点(仮想視点)から見た前記被写体の画像を生成する。そしてこのとき、前記被写体の3次元的な形状は、テクスチャマッピングの手法を用いた多層平面で表現する。

[0348] 前記テクスチャマッピングの手法を用いて前記被写体の3次元的な形状を表現するときには、例えば、コンピュータ等の画像生成装置内に設定した仮想的な3次元空間上に、図43に示すように、カメラの視点C、多層構造の投影面 L_i ($i=1,2,\dots,M$)、前記被写体の3次元的な形状を取得するための基準視点Rを設定する。またこのとき、N枚の合焦距離が異なる画像から前記被写体の形状を取得するとすれば、前記投影

面 L_j は、図44に示すように、前記各画像 Img_i ($i=1,2,\dots,N$)の合焦距離 f_i と一致するような距離に設定する。

[0349] ここで、図44に示したように、前記基準視点 R からある方向を見たときに重なり合う投影点 T_j ($j=1,2,\dots,N$)について考えると、従来のモデル取得方法では、前記被写体の表面は、前記投影点 T_j のいずれか1点に存在すると考える。このとき、前記被写体の表面が前記投影点 T_j のうちのどの投影点に存在するかは、例えば、前記各投影点 T_j の合焦点度の高さによって決定する。そこで、まず、前記基準視点 R から見て重なり合う各投影点 T_j の色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を決定する。

[0350] 前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を決定するときには、図45に示すように、前記投影点 T_j と対応する前記各画像 Img_i 上の点(対応点) G_i の色情報 κ_i 及び前記対応点 G_i で焦点の合っている度合い(合焦点度)に基づいて決定する。このとき、前記投影点 T_j の色情報 K_j は、例えば、前記各対応点 G_i の色情報 κ_i の平均値、あるいは空間的に一致する対応点 $G_{i=j}$ の色情報 $\kappa_{i=j}$ とする。また、前記投影点 T_j の合焦点度は、画像上の点または微小領域での画像のシャープさやボケの程度により決められる。前記合焦点度の算出方法には、Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論に基づき、様々な方法がある。なお、Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論については、例えば以下の文献を参照されたい。

[0351] 文献8:A.P.Pentland: "A New Sense for Depth of Field," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-9, No.4, pp.523-531(1987).

文献9:Murali Subbarao and gopal Surya: "Depth from Defocus: A Spatial Domain Approach," International Journal of Computer Vision, 13, 3, pp.271-294, Kluwer Academic Publishers.

文献10:石原満宏, 佐々木博美: "合焦法による高速三次元形状計測", 精密工学会誌, Vol.63, No.1, pp.124-128, 精密工学会.

文献11:大場光太郎, 山田茂: "実時間全焦点顕微鏡カメラ", O plus E, Vol.22, No.12, pp.1568-1576, 2000, 新技術コミュニケーションズ.

前記合焦点度 Q_j は、例えば、前記各対応点 G_i の局所空間周波数の大きさを比較することで求められる。

[0352] 前記 Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論は、合焦距離の異なる複数枚の画像を解析し、前記物体の表面形状を計測する方法である。このとき、例えば、前記合焦距離を変えて撮影した画像のうち、最も局所空間周波数が高い画像の合焦距離に相当する距離に前記物体の表面があると推定できる。そこで、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j は、例えば、下記数式65で表されるような局所空間周波数の評価関数を用いて算出する。

[0353] [数65]

$$Q = \frac{1}{D} \sum_{x=x_i}^{x_f} \sum_{y=y_i}^{y_f} \left\{ \sum_{p=-L_c}^{L_c} \sum_{q=-L_r}^{L_r} |f(x, y) - f(x+p, y+q)| \right\}$$

ここで、 f は画素の濃淡値、 D は正規化のための定数で評価を行う全ての画素数、 $(-L_c, -L_r) - (L_c, L_r)$ 及び $(x_i, y_i) - (x_f, y_f)$ はそれぞれ分散評価と平滑化を行うための小領域である。

[0354] そして、このような処理を、前記基準視点 R から見て重なり合う全ての投影点 T_j に対して行い、図46に示すように、前記各投影点 T_j の色情報及び合焦点度 Q_j を決定したら、前記各投影点 T_j の合焦点度 Q_j の高さに基づいて、前記被写体の表面が存在する距離を推定する。このとき、前記基準視点 R から見て重なり合う各投影点 T_j の合焦点度 Q_j が、例えば、図47(a)に示すように、ある投影点 T_n の合焦点度 Q_n のみが非常に高い値を示している場合は、その投影点 T_n 上に前記被写体の表面が存在すると推定でき、その信頼性も非常に高い。

[0355] ところが、取得した画像の撮影条件や、前記被写体の形状、あるいは前記被写体の表面の模様(テクスチャ)によっては、例えば、図47(b)に示すように、合焦点度 Q が特徴的な大きな値をとる投影点 T がない場合もある。図47(b)に示した例では、例えば、投影点 T_n, T_n^* の合焦点度 Q が、他の投影点 T の合焦点度 Q よりも若干高い値なので、前記投影点 T_n, T_n^* のどちらかに前記被写体の表面が存在すると考えられる。しかしながら、どちらの投影点 T_n, T_n^* の合焦点度 Q も、特徴的な大きな値ではない

ので、どちらかの投影点を選択した場合、その信頼性は低い。また、場合によっては、誤った投影点を選択してしまうこともある。そして、前記被写体の表面が存在する投影点の推定(選択)を誤れば、生成した画像上に大きなノイズとなって現れる。

[0356] このような場合、前記被写体の表面の距離、すなわちどの投影面上に存在するかを推定したときの信頼性を上げるには、例えば、合焦距離の間隔を細かくして、より多くの画像を用いたり、ピーク位置だけでなくその前後の合焦点度の値を、例えば、正規分布関数等の既知の関数に当てはめたりして前記被写体表面の距離を推定する工夫が必要となる。

[0357] しかしながら、より多くの画像を用いれば、処理時間が長くなる、撮影手段における合焦距離の調節が難しくなるといった問題がある。また、ある合焦距離にピントを合わせた場合、その前後に被写界深度と呼ばれる範囲があり、前記被写界深度の範囲内にある点であれば、前記合焦距離上になくても、撮影した画像上でのボケは実質的に生じない。そのため、前記合焦距離を細かく区切って効果が得られるのは前記被写界深度程度の間隔まででそれ以上細かくしても効果は薄い。さらに、前記被写体表面のテクスチャの空間周波数が低い、すなわち模様の変化が少なく一様である場合、合焦距離を変えても画像上での変化は生じにくい。このような場合は、原理的に、信頼性の高い推定を行うことが困難である。

[0358] このようなことから、一般的には、前記合焦点度 Q の分布が、図47(b)に示したような場合でも、前記合焦点度 Q が最大値の投影点 T_j に前記被写体の表面が存在するとしている。そのため、前記被写体の表面の距離の推定を誤り、生成した画像に大きなノイズが現れることが多かった。

[0359] そこで、本発明の画像生成方法では、前記被写体表面の距離をある1点、すなわち前記基準視点 R から見て重なり合う投影点 T_j のいずれか1点に特定せずに、図48に示すように、前記各投影点 T_j の合焦点度 Q_j の高さに応じた存在確率 β_j を与える。このとき、前記存在確率 β_j は、前記基準視点 R から見て重なり合うすべての投影点 T_j の存在確率 β_j の集合において、下記数式66及び数式67の条件を満たす必要がある。

[0360] [数66]

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

[0361] [数67]

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

そこで、投影面 L_j が M 枚あり、前記基準視点 R から見て重なり合う投影点 T_j が M 個あるとすれば、 k 番目の投影面 L_k 上の投影点 T_k の存在確率 β_k は、下記数式68から求める。

[0362] [数68]

$$\beta_k = \frac{Q_k}{\sum_{j=1}^M Q_j}$$

このようにして、前記基準視点 R から見て重なり合う投影点 T_j について、前記各投影点 T_j に存在確率 β_j を決定するという処理を、あらゆる方向に対して行うことで、前記被写体の3次元的な形状を得ることができる。そして、前記仮想視点 P から見た前記被写体の画像を生成するときには、例えば、図49に示すように、前記投影面 L_j が設定された空間上に前記仮想視点 P を設定して、生成する画像上の各点の色情報を決定する。このとき、前記生成する画像上の点 A の色情報 K_A は、前記仮想視点 P から見て前記点 A と重なり合う投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j から、例えば、下記数式69を用いて決定する。

[0363] [数69]

$$K_A = \sum_{j=1}^M \beta_j K_j$$

そして、前記数式69を用いて、前記生成する画像上の全ての点の色情報を決定すると、前記仮想視点Pから見た前記被写体の画像(仮想視点画像)が得られる。このとき、生成された前記仮想視点画像上で、例えば、図47(a)に示したように、ある投影点 T_n の合焦点度 Q_n だけが特徴的な大きな値を持つような場合は、その投影点 T_n の存在確率 β_n だけが大きくなる。そのため、前記数式69を用いて色情報を混合処理するときに、前記投影点 T_n の色情報 K_n の、前記生成画像上の点Aの色情報 K_A への寄与率が高くなり、明瞭に描画される。また、図47(b)に示したように、前記被写体の表面の距離の推定が難しい場合は、各投影点Tの存在確率 β が小さな値になるので、前記生成画像上の点Aの色情報 K_A への寄与率は低くなり、曖昧に描画される。その結果、距離の推定を誤ったときに生じるような不連続で大きなノイズを低減することができ、観察者の見た目に、より良好な画像を生成することができる。

- [0364] また、本発明の画像生成方法は、コンピュータ・グラフィックスの基本的な手法であるテクスチャマッピングによりシンプルに実装できる。そのため、普及型のパーソナル・コンピュータに搭載している3次元グラフィックス・ハードウェアで良好に処理できるほど、計算機負荷が軽くなる。
- [0365] ただし、本発明の画像生成方法は、前記基準視点のようにある視点から見て重なり合う各投影点 T_j について合焦点度 Q_j を算出し、前記存在確率 β_j を決定している。そのため、被写体の形状や、前記基準視点と前記仮想視点の位置関係によっては、前記仮想視点Pから見て重なり合う複数の投影点の中に、存在確率が非常に高い投影点が2点以上含まれることがある。そのような場合、前記各投影点の色情報を前記存在確率に応じた割合で混合すると、生成する画像上の点の色情報が有効な色情報の範囲を超えてしまうことがある。
- [0366] ここで、これまでに説明した実施の形態と同様にして、図50に示すように、被写体O

bjがある空間に、2枚の投影面 L_1, L_2 、基準視点R、仮想視点Pを設定した場合について考えてみる。このとき、投影点 T_1, T_2, T'_1, T'_2 における色情報がそれぞれ K_1, K_2, K'_1, K'_2 、被写体の存在確率が $\beta_1, \beta_2, \beta'_1, \beta'_2$ であるとする。

[0367] また、前記被写体の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta'_1, \beta'_2$ は、基準視点Rを通る直線上で決定したとすると、図50に示した例では、投影点 T'_1 及び T'_2 付近に被写体Objの表面が存在するため、この投影点 T'_1 及び T'_2 での存在確率は、投影点 T_1 及び T_2 に比べて高くなる。このとき、前記各投影点 T_1, T_2, T'_1, T'_2 の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta'_1, \beta'_2$ は、下記数式70及び数式71のようになる。

[0368] [数70]

$$\beta_1 \cong 0, \quad \beta_2 \cong 1$$

[0369] [数71]

$$\beta'_1 \cong 1, \quad \beta'_2 \cong 0$$

このとき、前記仮想視点Pの画像面上の点Aにおける色情報 K_A は、前記数式69から、前記仮想視点Pから見て前記画像面上の点Aと重なる投影点 T'_1, T'_2 の色情報 K'_1, K'_2 を、前記存在確率 β'_1, β'_2 に応じた重み付けで加算することで求め、下記数式72のようになる。

[0370] [数72]

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta'_2 K'_2$$

また、前記数式72は、前記数式70及び数式71により、下記数式73のように近似できる。

[0371] [数73]

$$K_A \doteq K'_1 + K_2$$

しかしながら、前記仮想視点Pから前記物体Objを見たときには、投影点 T'_1 上の物体表面は、投影点 T_2 上の物体表面より遮蔽されているので、画像面上の点Aにおける本来の色情報は $K_A = K_2$ である。つまり、生成された画像上の点Aの色情報 K_A は、前記数式73のように、本来の色情報よりも K'_1 の分だけ(R, G, B)の各成分の輝度が上がってしまう。

[0372] またこのとき、前記投影点 T'_1 , T_2 の色情報 K'_1 , K_2 の各成分が大きな輝度を持つ場合、点Aの色情報 K_A は有効な色空間の範囲を超えてしまう。そのため、有効な色空間の範囲内に収まるようにするクリッピング処理が必要となる。

[0373] そこで、本発明の画像生成方法では、前記投影点の存在確率に基づいて、各投影点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する。このとき、前記生成する画像における各点の色情報を得るための混合処理は、前記生成する画像の視点から遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを前記透明度に応じた比率で内分して得る。またこのとき、前記混合処理により得られる色情報は、ある段階での色情報とその次の色情報の内分である。

[0374] 前記色情報の混合処理の原理を説明するために、例えば、色空間Vに、図51(a)に示すように、投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)、投影点 T_j 、赤(R)、緑(G)、青(B)の成分を持ち投影点 T_j の色情報を表すベクトル K_j が設定されている場合を考える。このとき、前記色空間Vは、下記数式74で表されとする。

[0375] [数74]

$$K_j \in V, V \equiv \{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 1, 0 \leq G \leq 1, 0 \leq B \leq 1\}$$

また、前記投影点 T_j の透明度 α_j は、下記数式75の条件を満たすように設定されているとする。

[0376] [数75]

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

このとき、変数 $j=m$ までの混合処理で得られる色情報 D_m は、下記数式76及び数式77のような漸化式で表される。そして、前記仮想視点 P から見て一番手前の投影面 L_M 、すなわち変数 $j=M$ まで混合したときの色情報 D_M が、前記生成する画像の画像面上の点 A における色情報 K_A となる。

[0377] [数76]

$$D_m = \alpha_m K_m + (1 - \alpha_m) D_{m-1}$$

[0378] [数77]

$$D_1 = \alpha_1 K_1$$

またこのとき、前記数式75及び数式76の関係から、前記色情報 D_m は、色空間 V においてベクトル K_m と色情報 D_{m-1} の内分点である。そのため、前記色情報 D_m は、図51(b)に示すように、 $K_m \in V$ 、 $D_{m-1} \in V$ ならば $D_m \in V$ となる。

[0379] すると、前記数式74及び数式75の条件を満たせば、前記仮想視点 P における色

情報 D_M について、前述したように、下記数式78のようになることが保証される。

[0380] [数78]

$$D_M \in V$$

つまり、前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び透明度 α_j を、前記数式74及び数式75を満たすように設定すれば、前記生成する画像の点Aの色情報 D_M は、必ず適切な色空間 V に納めることができる。

[0381] このように、透明度 α_j を用いた色情報の混合処理を行うと、同一の被写体において複数の仮想視点から見た画像を生成するときに、ある1つの視点(基準視点)から投影点の色情報及び透明度を計算したとしても、その色情報及び透明度が、前記数式74及び数式75の条件を満たせば、生成する全ての画像を、適切な色情報の範囲で生成することができる。

[0382] そこで、例えば、図50に示した例で、前記各投影点 T_1, T_2, T'_1, T'_2 のそれぞれに、下記数式79及び数式80で与えられるような透明度 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha'_1, \alpha'_2$ を設定する。

[0383] [数79]

$$\alpha_2 = \beta_2, \quad \alpha_1 = 1$$

[0384] [数80]

$$\alpha'_2 = \beta'_2, \quad \alpha'_1 = 1$$

ここで、前記仮想視点Pにおける各点の色情報を得るために、前記仮想視点Pから見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に混合処理をし、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点

までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得るようにする。そうすると、仮想視点Pから見た画像の点Aの色情報 D_A は、下記数式81のようになる。

[0385] [数81]

$$K_A = \alpha_2 K_2 + (1 - \alpha_2) \alpha'_1 K'_1$$

このとき、前記数式81は、前記数式70、数式71、数式79、数式80から下記数式82のようになり、本来の色情報のよい近似となる。

[0386] [数82]

$$K_A \doteq K_2$$

以上で述べたとおり、前記存在確率 β をそのまま用いた画像生成では、基準視点Rと生成する画像の視点Pが同一である場合には問題ないものの、両者が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、存在確率 β を透明度 α に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。

[0387] また、前記存在確率 β をそのまま用いる画像生成において基準視点Rと仮想視点Pが異なる場合には、複数の投影点の色情報を混合処理したときに、仮想視点Pから見た画像上の点の色情報が、有効な色空間の範囲内に収まる保証がない。そのため、例えば、補正処理が必要となる。それに対し、前記存在確率 β を透明度 α に変換する画像生成では、このような補正は不要である。

[0388] また、前記存在確率 β を透明度 α に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

[0389] 次に、本発明の画像生成方法を用いて画像を生成するときに、処理の前提となる数理モデルの一例について説明する。

[0390] 図52及び図53は、本発明の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、図52は投影点、対応点、生成する画像上の点の関係を示す図、図53は空間上の点と画像上の画素の変換方法を説明する図である。

[0391] 本発明の画像生成方法を用いて、前記仮想視点Pから見た画像を生成するときには、例えば、透視投影変換により、前記仮想視点から見た画像上のある点の色情報または輝度情報を求める。ここで、カメラの視点C、投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)、仮想視点Pが、例えば、図52に示すように設定されている場合を考える。

[0392] 一般的に、3次元空間上の投影点 $T_m(X, Y, Z)$ を前記仮想視点Pから見た画像、すなわち生成する画像上の点 (x, y) へ射影する行列は、3行4列の行列で与えられる。このとき、前記射影行列、及び原点を中心とした焦点距離 f の透視投影変換を表す行列 Φ_0 は、第1の実施の形態等において説明した通りである。

[0393] また、図53に示すような画像座標 (x, y) と、デジタル画像座標 (u, v) との関係も、第1の実施の形態において説明した通りである。なお、2次元配列の書き込み及び読み取りをする際、前記デジタル画像座標 (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、配列へのアクセスの際に適当な離散化処理を行うものとする。また、レンズの収差による画像の歪みを補正した変換を行うことも可能である。

[0394] (実施例3-1)

図54乃至図57は、本発明による実施例3-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図54は画像の生成手順を示すフロー図、図55は投影点列の設定方法を説明する図、図56は図54のステップ10305の処理の具体例を示すフロー図、図57はレンダリングの方法を説明する図である。

[0395] 本実施例3-1の画像生成方法は、前述のような原理を用いて画像を生成する方法であり、図54に示すように、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得するステップ101と、観察者の視点(仮想視点)を設定するステップ102と、前記取得した画像に基づいて被写体の3次元的な形状を取得するステップ103と、前記ステップ103で取得した被写体の3次元的な形状を前記仮想視点から見た画像を生成(レンダリング)するステップ104とを有する。

- [0396] また、前記ステップ103は、多層構造の投影面を設定するステップ10301と、被写体の3次元的な形状を取得するための基準視点を決定するステップ10302と、投影点列、対応点等を設定するステップ10303と、テクスチャ配列、すなわち前記投影点の色情報及び存在確率を格納する領域を確保するステップ10304と、前記投影点の色情報及び存在確率を決定するステップ10305とを有する。
- [0397] 本実施例3-1の画像生成方法では、例えば、図54に示すように、まず、合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得する(ステップ101)。このとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例3-1では、画像上の各点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。
- [0398] 次に、観察者が前記被写体を見る位置(仮想視点)を設定する(ステップ102)。次に、前記取得した被写体の画像を用いて、前記被写体の3次元的な形状を取得する(ステップ103)。そして、前記被写体の3次元的な形状を取得したら、前記仮想視点から前記被写体を見たときの画像を生成する(ステップ104)。
- [0399] このとき、前記ステップ103では、例えば、図54に示すように、まず、多層構造の投影面 L_j ($j \in J, J \equiv \{1, 2, \dots, M\}$)を設定する(ステップ10301)。このとき、前記投影面 L_j は、例えば、図43に示したように、平面形状を持つ投影面を平行に設置する。またこのとき、前記投影面の設置間隔は、例えば、図44に示したように、前記ステップ101で取得する各画像の合焦距離と一致させるのが好ましいが、一致していなくても構わない。
- [0400] 次に、前記被写体の3次元的な形状を取得する視点、言い換えると、投影点上に被写体の表面が存在する確率を求めるときの基準とする点(基準視点)Rを決定する(ステップ10302)。このとき、前記基準視点Rは、前記仮想視点Pと同じ点であっても良いし、異なる点であっても良い。また、連続的に複数の仮想視点Pから見た被写体の画像を生成するときには、その重心位置にとっても良い。
- [0401] 次に、前記基準視点Rを通る直線上の投影点の組でなる投影点列、前記投影点と対応する画像上の点(対応点)等を設定する(ステップ10303)。このとき、前記投影点列は、例えば、図13に示すように、前記基準視点Rを通る直線と前記投影面 L_j の

交点(投影点) T_j の集まりとして定義する。このとき、投影点列 S は、 $S = \{T_j \mid j \in J\}$ と書け、さらにその集合を σ とおけば、 $S \in \sigma$ となる。

[0402] 次に、前記各投影面にテクスチャマッピングする画像を保持する配列(テクスチャ配列)を、例えば、前記画像を生成する装置のメモリ上に確保する(ステップ10304)。このとき、確保する配列は、例えば、前記投影点の位置に対応するテクスチャ情報を、画素毎に色情報(R, G, B)及び存在確率の情報を8ビットずつ持たせる。

[0403] また、前記ステップ10304では、前記テクスチャ配列の画素の2次元デジタル座標(U_j, V_j)と投影点 T_j の3次元座標(X_j, Y_j, Z_j)の対応関係も設定する。このとき、例えば、すべての(U_j, V_j)の値に対して(X_j, Y_j, Z_j)の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な(U_j, V_j)に対してのみ(X_j, Y_j, Z_j)の値を設定し、その他の座標は、例えば、線形補完等の補完処理により求めてもよい。

[0404] 次に、前記ステップ101で取得した被写体の画像をもとに、前記ステップ10304で確保した各投影点 T_j に相当する画素の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を決定する(ステップ10305)。このとき、前記色情報及び存在確率は、ある投影点列 S 上の投影点 T_j を $T_j \in S$ の範囲で順に走査し、それを投影点列 $S (\in \sigma)$ の範囲で繰り返す2重のループ処理を行う。

[0405] 前記ステップ10305の処理を行うときには、まず、図56に示すように、走査する投影点列 S を開始位置に初期化する(ステップ10305a)。そして次に、走査する投影点 T_j を投影点列 S 内で開始位置に初期化し、例えば、 $j=1$ とする(ステップ10305b)。

[0406] 次に、前記投影点 T_j の座標(X_j^*, Y_j^*, Z_j^*)の色情報 K_j を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、まず、座標(X_j^*, Y_j^*, Z_j^*)の位置にある点を撮影したとき、画像面(イメージセンサ)どの位置に対応するかを算出する。そして、前記投影点 T_j に対応するテクスチャ配列上の画素(U_j^*, V_j^*)における色情報は、例えば、(u_{ij}^*, v_{ij}^*) ($i \in I$)における色情報とする。

[0407] 次に、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j を決定する。このとき、前記合焦点度 Q_j は、例えば、対応点の局所空間周波数の大きさに基づいて、前記数式65を用いて算出する(ステップ10305d)。

[0408] 前記ステップ10305dまでの処理が済んだら、次に、前記投影点 T_j を更新し、投影

点 $T_j \in S$ をすべて走査したかを判別する(ステップ10305e)。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら、次のステップ10305fに進み、まだ走査し終えていないのであれば前記ステップ10305cに戻る。

[0409] 前記ステップ10305eで、すべて走査し終えたと判別されたら、次に、前記ステップ10305dで算出した各投影点 T_j の合焦点度 Q_j に基づいて、前記投影点列 S 上のすべての投影点 $T_j (j \in J)$ について、各投影点上に被写体が存在する確率(存在確率) β_j を決定する(ステップ10305f)。前記存在確率 β_j は、例えば、前記数式68を用いて決定する。なお、前記存在確率 β_j は、基本的には、前記数式66及び数式67の条件を満たせばよいので、前記数式68以外の数式を用いてもよい。

[0410] 次に、投影点列 S を更新し、投影点列 $S \in \sigma$ をすべて走査したかを判別する(ステップ10305g)。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら前記ステップ103の処理、すなわち前記被写体の3次元的な形状の取得が終了する。また、まだ走査していない投影点列があれば、ステップ10305bに戻る。

[0411] 前記ステップ10305gで、すべての投影点列について走査し終えたと判別されたら、次に、前記投影面 $L_j (j=1, 2, \dots, M)$ を用いて表現される被写体を、前記仮想視点 P から見た画像を、前記存在確率 β_j に応じて描画して生成する(ステップ104)。ここで、例えば、図57に示すように、仮想視点 P における画像面の座標が u_p, v_p で表されているとする。このとき、画像面上のある画素 $p^*(u_p^*, v_p^*)$ の色情報 K_p^* は、仮想視点 P と画像面上の画素 p^* を結ぶ直線上にある投影点列 $\{T_j^* | j \in J\}$ の色情報 $\{K_j^* | j \in J\}$ に対応する存在確率 $\{\beta_j^* | j \in J\}$ を掛けて加算したものとして決定され、下記数式83のように表される。

[0412] [数83]

$$K_p^* = \sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*$$

そして、画像面上にあるすべての画素について、前記数式83を用いて色情報を決

定すれば、仮想視点Pにおける画像を得ることができる。

- [0413] また、前記数式83の代わりに、下記数式84を用いて K_p^* を計算すると、基準視点Rと仮想視点Pの位置が異なる場合でも、 K_p^* は必ず有効な色空間の範囲内に収めることが保証される。

- [0414] [数84]

$$K_P^* = \frac{\sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_j^*}$$

なお、ここでは画像面の画素を走査して色情報を決定する手順を示したが、これに限らず、例えば、OpenGL や DirectX 等の汎用的なグラフィックスライブラリに投影面 L_j の構成、テクスチャ配列、仮想視点Pの設定などのデータを受け渡し、描画処理を任せてもよい。

- [0415] 以上で本実施例3-1の前記仮想視点画像の生成処理が終了し、生成された画像は、CRT (Cathode Ray Tube)、液晶ディスプレイ等の画像表示手段に出力される。このとき、前記画像表示手段に表示される画像は、例えば、被写体の像のうち、前記ステップ10305dで算出した合焦点度Qが低い投影点の色情報は、生成した画像上の点の色情報への寄与が小さい。そのため、距離の推定の信頼性が低い投影点については曖昧に描画される。その結果、例えば、従来の方法で生成した画像のように、部分的に画像が欠損している、あるいは画質が極端に劣化しているようには見えず、利用者の目には気にならない程度の劣化となる。

- [0416] 図58乃至図61は、本実施例3-1の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、図58は装置の構成を示すブロック図、図59乃至図61は被写体画像撮影手段の構成例を示す図である。

図58において、2は画像生成装置、201は多焦点画像(被写体画像)取得手段、202は仮想視点設定手段、203は投影面等設定手段、204はテクスチャ配列確保手段、205は色情報／存在確率決定手段、206はレンダリング手段、207は生成画像出力手段、3は多焦点画像(被写体画像)撮影手段、4は視点情報入力手段、5は画像表示手段である。また、図59において、6は偏光型二値光学系、7, 7A, 7Bはイメージセンサ、8はビームスプリッタ、ObjA, ObjBは被写体である。また、図60において、9は偏向フィルタである。また、図61において、10は可変焦点レンズ、11a, 11b, 11c, 11dは固定焦点レンズ、12はレンズホルダである。

[0417] 本実施の形態の画像生成方法を用いて画像を生成するときに用いる画像生成装置2は、例えば、図58に示すように、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段201と、生成する画像の視点(仮想視点)を設定する仮想視点設定手段202と、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する投影面設定手段203と、前記投影面に貼り付ける画像(テクスチャ画像)の配列をメモリ上に割り当てるテクスチャ配列確保手段204と、前記テクスチャ配列確保手段204で確保したテクスチャ配列を用いて、前記各投影面上の点(以下、投影点という)の色情報及び存在確率を決定する色情報／存在確率決定手段205と、前記各投影点の色情報を前記存在確率に応じた割合で混合し、生成する画像上の各画素の色情報を決定するレンダリング手段206と、前記レンダリング手段206で生成された画像を出力する生成画像出力手段207とを備える。

[0418] このとき、前記被写体画像取得手段201では、例えば、偏光型二値光学系(例えば、文献12:特開2000-258738号公報を参照。)のように偏光成分に応じて合焦距離が変わるレンズを備える被写体画像撮影手段3で撮影した被写体の画像を取得する。また、前記偏光型二値光学系に限らず、可変焦点レンズ(例えば、文献13:特許第3303275号公報を参照。)を備える撮影手段で撮影した画像を取得してもよい。また、その他にも、例えば、複数個の焦点距離が異なるレンズを一体的に支持しておき、個々のレンズを高速で切り替えながら撮影した画像を取得してもよい。またこのとき、前記被写体画像取得手段201は、刻々と変化する被写体の位置・姿勢を一定の間隔、例えば、30Hzの間隔で逐次的に取得することも、任意の時刻における被写体

の静止画像を取得することも可能である。また、前記被写体の画像は、前記被写体画像撮影手段3で撮影した後、磁氣的または電氣的、あるいは光学的な記録媒体(記録装置)に記録された画像を取得してもよい。なお、前記被写体の画像は、同一時刻に撮影した画像であることが望ましいが、被写体の位置や姿勢の変化が十分に遅く、静止物と見なせる場合にはこの限りではない。

[0419] また、前記仮想視点設定手段202は、前記生成する画像の視点(仮想視点)のパラメータとして、例えば、位置、方向、画角を設定する。このとき、前記仮想視点は、前記仮想視点設定手段202において自動的に決定してもよいし、利用者がマウスやキーボード等の視点情報入力手段4を用いて入力した情報に基づいて決定してもよい。またこのとき、視点情報入力手段4は、前記利用者が装着する位置・姿勢検出センサでもよい。また、他のプログラムにより与えられるものでも、ネットワークを介して与えられるものでも可能である。

[0420] また、前記投影面等設定手段203は、例えば、図54に示したステップ10301、ステップ10302、ステップ10303の処理を行う。

[0421] また、前記テクスチャ配列確保手段204では、図54に示したステップ10304の処理を行い、例えば、各画素について色情報と存在確率に関する情報を保持し、例えば、赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色及び前記存在確率に対して各8ビットで表現するテクスチャ配列を確保する。ただし、本発明はこのような特定のデータ表現形式に依存するものではない。

[0422] また、前記色情報／存在確率決定手段205は、図54に示したステップ10305の処理を行い、例えば、図56に示したようなステップ10305aからステップ10305gまでの処理を行う。また、前記レンダリング手段206は、前記色情報／存在確率決定手段205の結果をもとにして、図54に示したステップ104の処理を行い、前記仮想視点Pからみた前記被写体の画像を生成する。

[0423] また、前記レンダリング手段206で生成した仮想視点画像は、前記生成画像出力手段207から出力され、CRT、LCD(Liquid Crystal Display)、PDP(Plasma Display Panel)等の画像表示手段5で表示される。このとき、前記画像表示手段5は、例えば、2次元平面状の表示装置でもよいし、利用者を取り囲むような曲面状の表示装置で

あってもよい。また、前記画像表示手段5として、立体表示が可能な表示装置を用いれば、前記仮想視点設定手段202で、前記利用者の左右眼に相当する2つの視点を決定し、前記2つの視点からの立体画像を生成したのち、利用者の左右眼に独立した画像を提示することも可能である。また、3つ以上の仮想視点からの画像を生成し、3つ以上の視差がついた画像を表示することのできる3次元ディスプレイを用いれば、1人以上の利用者に対して立体映像を提示することも可能である。

[0424] また、前記生成画像出力手段207は、前記生成した画像を前記画像表示手段5に出力するだけでなく、例えば、電氣的、磁氣的、光学的な記録媒体に出力するような手段であってもよい。

[0425] またこのとき、図示は省略するが、前記画像生成装置2に、前記生成した画像を蓄積する蓄積手段を設けて前記生成した画像を蓄積しておき、利用者からの指示に応じて、蓄積された画像を出力し前記画像表示手段5で表示するようにしてもよい。

[0426] また、前記撮影手段3として、例えば、偏光型二値光学系が組み込まれているカメラを用いれば、2通りの合焦距離で前記被写体Objを撮影することができる。前記偏光型二値光学系は、光学的な異方性(複屈折性)を示す材質を用いた光学系であり、例えば、図59(a)に示すように、前記偏光型二値光学系6を通る光の偏光成分がp成分の場合と、s成分の場合で合焦距離 f_1 , f_2 が異なる。このとき、一般的な撮影手段のように、1枚のイメージセンサ7上に画像を結像すれば、前記イメージセンサ7から得られる画像では、前記p成分によるイメージとs成分によるイメージ、すなわち合焦距離 f_1 で撮影した画像と合焦距離 f_2 で撮影した画像が重なった画像になってしまう。そのため、例えば、図59(b)に示すように、前記偏光型二値光学系6を通った光をビームスプリッタ8で分離し、p成分の光を第1イメージセンサ7Aに結像させ、s成分の光を第2イメージセンサ7Bに結像させれば、合焦距離が f_1 の画像と、合焦距離が f_2 の画像に分離して取得することができる。

[0427] ここで、例えば、図59(b)に示したように、前記合焦距離 f_1 の近傍に被写体ObjAがあり、合焦距離 f_2 の近傍に別の被写体ObjBがあるとすれば、前記第1イメージセンサ7Aの画像、すなわちp成分の光で結像させた画像は、図59(c)に示したように、被写体ObjAがシャープで、被写体ObjBがぼやけた画像になる。一方、前記第2イメー

ジセンサ7Bの画像は、逆に、被写体ObjAがぼやけ、被写体ObjBがシャープな画像になる。

[0428] また、前記偏光型二値光学系6を用いて撮影した画像を分離するときには、前記ビームスプリッタ8の代わりに、例えば、図60(a)に示すように、前記偏光型二値光学系6とイメージセンサ7の間に偏光フィルタ9を設置してもよい。このとき、設置する偏光フィルタ9は、例えば、図60(b)に示すように、p成分に対するフィルタ9Aとs成分に対するフィルタ9Bが、市松格子状に配置されたフィルタを用いる。このとき、各フィルタ9A、9Bが前記イメージセンサ7の画素と同じサイズ、あるいは $n \times n$ 画素のサイズであれば、前記イメージセンサ7で得られた画像から、p成分またはs成分に相当する画素を間引くことで、図59(c)に示したような2枚の画像が得られる。

[0429] また、前記合焦距離が異なる複数枚の画像を撮影するときには、前記偏光型二値光学系6を用いる代わりに、例えば、図61(a)に示すように、可変焦点レンズ10を用いてもよい。前記可変焦点レンズ10を用いれば、例えば、図61(a)に示したように、1つのレンズで4つの焦点位置 f_1, f_2, f_3, f_4 の画像を得ることができる。

[0430] またさらに、前記偏光型二値光学系6や可変焦点レンズ10のように、レンズの媒質の屈折率を変化させることで焦点位置を変化させる代わりに、図61(b)に示すように、合焦距離が固定しており、かつ、互いに異なる固定焦点レンズ11a, 11b, 11c, 11dをレンズホルダ12で一体的に支持し、例えば、レンズホルダ12を回転させて個々のレンズを高速で切り替えながら画像を撮影してもよい。

[0431] 以上説明したように、本実施例3-1の画像生成方法によれば、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所では被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、推定の信頼性が低い箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、推定の信頼性が高い箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化を目立たなくすることができ、利用者の見た目には劣化の少ない仮想視点画像とすることができる。

[0432] また、本実施例3-1の画像生成方法では、テクスチャマッピングの手法を利用して

物体の3次元的な形状を取得し、前記仮想視点Pから見た画像を生成するので、図58に示したような画像生成装置2で前記仮想視点画像を生成するときの負荷を小さくすることができ、高速に仮想視点画像を生成することができる。

[0433] また、前記画像生成装置2は、専用の装置(計算機)である必要はなく、例えば、コンピュータとプログラムによっても実現することができる。その場合、図54及び図56に示したような各ステップをコンピュータに実行させることが可能なプログラムを作成し、前記コンピュータに実行させれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータでも、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。またこのとき、前記プログラムは、磁氣的、電氣的、あるいは光学的な記録媒体に記録して提供することもできるし、ネットワークを通して提供することも可能である。

[0434] なお、本実施例3-1で説明した画像生成装置の構成、及び画像の生成方法や処理手順は一例であり、本発明の本旨とするのは、多層から構成される投影面にテクスチャマッピングする画像に対して存在確率を与え、推定した距離の信頼性が低いところは複数の投影面にテクスチャマッピングして曖昧に描画する点である。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の処理方法や実装に依存するものではない。

[0435] また、本実施例3-1の画像生成方法では、画像上の点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記仮想視点画像を生成する場合を例に挙げて説明したが、本実施例3-1の画像生成方法は、前記カラー画像に限らず、画像上の各点(画素)が輝度(Y)、色差(U、V)を用いた表現の白黒画像を取得し、前記仮想視点画像を生成することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報(Y)を用いて、本実施例3-1で説明したような手順で仮想視点画像を生成すればよい。

[0436] 図62及び図63は、本実施例3-1の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、図62は画像生成システムの一構成例を示す図、図63は画像生成システムの他の構成例を示す図である。

[0437] 本実施例3-1の画像生成装置1は、例えば、図62に示すような画像生成システムに適用することができる。このとき、利用者Userがマウス等の前記視点情報入力手段

4を用いて、所望の視点位置、方向、画角を指定すると、前記画像生成装置2は、前記撮影手段3で撮影している被写体Objの画像を取得する。そして、前記被写体Objの画像を取得した前記画像生成装置1では、本実施例3-1で説明したような手順で、前記利用者Userが指定した視点位置、方向、画角から前記被写体Objを見たときの画像を生成する。そして、生成した画像を画像表示手段5に表示し、利用者Userに提示する。

[0438] このとき、前記撮影手段3は、前記利用者Userがいる場所と地理的に近い場所に設置されていてもよいし、インターネット等のネットワークを介して、地理的に遠隔な場所に設置されていてもよい。

[0439] また、本実施例3-1の画像生成装置1は、例えば、図62に示したように、利用者Userと被写体Objの関係が固定されている一方向の画像生成システムだけでなく、テレビ電話やテレビ会議のような双方向の通信システムに適用することも可能である。

[0440] 本実施例3-1の画像生成装置2を双方向の通信システムに適用するときには、例えば、図63に示すように、利用者UserAを撮影する撮影手段3A及び利用者UserBを撮影する撮影手段3Bがあればいい。こうすれば、前記利用者UserAは、前記撮影手段3Bで撮影された利用者UserBの画像を用いて、所望の視点から前記利用者UserBを見たときの画像を生成し、画像表示手段4Aに表示させることができる。同様に、前記利用者UserBは、前記撮影手段2Aで撮影された利用者UserAの画像を用いて、所望の視点から前記利用者UserBを見たときの画像を生成し、画像表示手段4Aに表示させることができる。このとき、前記画像生成装置2は、図63に示したように、前記各利用者UserA、UserBの手元に設置されていてもよいし、どちらか一方の利用者UserA、UserBの手元にのみ設置されていてもよい。また、インターネットや社内LAN等のネットワーク13上に前記画像生成装置2Cを設置すれば、前記各利用者UserA、UserBの手元に前記画像生成装置2が無くても、前記仮想視点から見た画像を生成し、表示することができる。

[0441] また、図63では、利用者が二人の例を示しているが、さらに多数の利用者間でも、同様の画像生成を行うことができる。そのため、利用者が実際に存在する実空間とは別にコミュニケーションに用いる仮想空間を想定し、その位置関係に応じた他の利用

者の画像をお互いに提示し合えば、あたかもネットワーク上の仮想空間(サイバースペース)を共有するような感覚を利用者に提示することができる。

- [0442] なお、図62及び図63に示したシステムの構成は、本発明における画像生成装置の一適用例を示すものであり、必ずしもこのような構成に限定されるものではない。すなわち、個々の装置及び手段の配置、形態、実装等は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意に設定することができる。

(実施例3-2)

図64は、実施例3-2の特徴となる処理を示すフロー図である。本実施例3-2では、前記実施例3-1で説明したような仮想視点画像の生成処理において、前記ステップ10305fで決定した投影点の存在確率の代わりに、前記存在確率を透明度に変換して画像生成を行う例を示す。

- [0443] このとき、前記画像生成装置1の構成や、全体的な処理手順については、前記実施例3-1で説明した例と同様な形態をとることができるため、以下、差異のある部分のみを説明する。

- [0444] 前記実施例3-1では、前記ステップ10305fで決定した前記存在確率 β_j を用いて、例えば、前記数式69を用いて、前記仮想視点Pから見た画像上の各点の色情報を決定し、前記仮想視点画像を生成したが、その場合、図50を用いて説明したように、前記被写体の形状や前記基準視点と仮想視点の位置関係によっては、本来の被写体表面の色情報とは大きく異なる場合がある。そこで、本実施例3-2では、そのような問題を解決する方法として、前記存在確率を透明度に変換し、前記各投影点の色情報を前記透明度に応じた割合で混合する方法について説明する。このとき、前記存在確率を透明度に変換するステップは、前記ステップ103による処理におけるステップ10305fの後、または前記ステップ104、あるいは前記ステップ103とステップ104の間で行えばよい。そこで、本実施例3-2では、図64に示すように、前記前記存在確率を決定するステップ10305fの直後に、前記存在確率を変換して透明度を決定するステップ105を付加する。

- [0445] この場合、前記実施例3-1のテクスチャ配列を確保するステップ10304では、色情報及び前記存在確率を保持するテクスチャ配列を確保したのに対し、本実施例3-2

のステップ10304では、色情報及び前記透明度を保持するテクスチャ配列を確保する。

[0446] 前記透明度 α_j は、前記存在確率 β_j に基づいて計算され、前記実施例3-1のステップ10305fと同様、本実施例3-2でも、前記ステップ10305fで前記存在確率をいったん計算し、次のステップ105で透明度 α_j を計算する。

[0447] また、本実施例3-2のレンダリング処理を行うステップ104では、前記実施例3-1で説明した前記数式83や数式84の代わりに、前記数式11から前記数式13までに従って D_j を逐次的に計算する。そのため、画像面上のある画素 $p^*(u_p^*, v_p^*)$ の色情報 K_j^* は、下記数式85のように計算することになる。

[0448] [数85]

$$\begin{aligned} K_p^* &= D_M \\ &= \alpha_M K_M + (1 - \alpha_M) \alpha_{M-1} K_{M-1} + \dots \\ &\quad + (1 - \alpha_M) (1 - \alpha_{M-1}) \dots (1 - \alpha_2) \alpha_1 K_1 \end{aligned}$$

以上が本実施例3-2における画像生成方法であるが、前記存在確率 β_j をもとに透明度 α_j を計算する方法は、第1の実施の形態において図19(b)を参照して説明した方法と同じである。

[0449] 本実施例3-2の画像生成方法によれば、前記実施例3-1と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

[0450] また、前記実施例3-1で説明したように、存在確率をそのまま用いた画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、本実施例3-2のように、存在確率を透明度に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。そのため、画像の劣化が少なく、より実際の被写体に近い仮想視点画像を得ることができる。

[0451] また、前記実施例3-1で説明したように、存在確率をそのまま用いる画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合には、色情報を混合したときに有効な色情報の

範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、本実施例3-2のように、前記存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。そのため、画像生成処理が簡略化できる。

[0452] また、本実施例3-2の仮想視点画像生成方法のように、存在確率を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

[0453] なお、本実施例3-2で説明した画像生成方法は一例であり、本実施例3-の本旨とするところは、前記存在確率を透明度に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

[0454] また、本実施例3-2の画像生成方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報(Y)を用いて、本実施例3-2で説明したような混合処理を行えばよい。

[0455] 図65は、本発明の画像生成方法における、他の生成方法を説明するための模式図である。

[0456] 前記実施例3-1及び実施例3-2の画像生成方法では、合焦距離が異なる複数枚の画像の取得に一般的なレンズを用い、色情報の投影あるいは射影をするときに、ピンホール光学系で近似することを前提として説明した。しかしながら、本発明の画像生成方法のように、合焦距離が異なる画像を用いる場合、例えば、テレセントリック・レンズを用いて前記複数枚の画像を取得すれば、色情報の投影あるいは射影をするときに、図65に示すように、平行投影系を設定することもできる。この場合、生成する画像上の点Aを通り、画像面に垂直な直線と前記投影面 L_j の交点を対応点 T_j とし、前記実施例で説明したような手順で各投影点 T_j 上に被写体が存在する確率 β_j を求めればよい。このとき、図65に示したように、投影点 T_j にテクスチャマッピングする対応点 G_j の座標のx成分及びy成分は、イメージセンサ上の点Gのx成分及びy成分になる。そして、取得した画像 Img_j 上において、前記対応点 G_j に写っている部分と同じ部分は、前記イメージセンサ上の点Gを通り前記イメージセンサと垂直な直線上になるので、これらの点を対応点 G_j として前記投影点 T_j の色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を

決定する。そして、この処理を同一直線上の各投影点 T_j に対して行った後、前記各投影点の合焦点度から存在確率 β_j を求めればよい。

[0457] (第3の実施の形態の効果)

上記のように、第3の実施の形態の画像生成方法は、前記被写体の3次元的な形状を得るための基準視点から見て重なり合う複数の投影点に色情報または輝度情報と前記被写体の表面が存在する確率(存在確率)を与える。すなわち、従来の3次元的な形状を得る方法のように、前記被写体の表面を、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点の中の1つの投影点上に存在すると考えるのではなく、前記被写体の表面は、前記各投影点上に前記存在確率で存在すると考える。このようにすると、距離の推定の信頼性が低い場合でも、実際に物体の表面が存在する投影点上に、ある確率で物体の表面が存在する。このとき、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成すると、生成した画像上の点(画素)で、前記存在確率が低い投影点の色情報を混合した色情報または輝度情報を持つ画素、すなわち距離の推定の信頼性が低い被写体上の点は曖昧に描画される。その結果、距離の推定を誤ったときに生じるような不連続なノイズを目立ちにくくすることができる。

[0458] 前記被写体の3次元的な形状を得るために、合焦点度が異なる複数枚の画像を用いる。このとき、前記基準視点から見て重なり合う各投影点の存在確率は、前記各投影点と対応する前記各画像上の点(対応点)の合焦点度に基づいて決定する。そのため、物体の形状や、前記基準視点と前記仮想視点の位置関係によっては、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の中に、存在確率が非常に高い投影点が2点以上含まれることがある。そのような場合、例えば、前記各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合すると、生成する画像上の点の色情報が有効な色空間の範囲を超えてしまうことがある。そのため、前記存在確率に基づいて前記投影点に透明度を設定し、前記透明度に応じた割合で色情報を混合処理してもよい。このようにすると、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の中に、存在確率が高い投影点が2点以上ある場合、前記仮想視点から見て遠くある投影点、例えば、前記仮想視点からは見えない投影点の色情報の、生成画像上の点の色情報への寄与を小さくすることができる。

[0459] 従来の生成方法のようにあらゆる形状の被写体、そして前記被写体上のあらゆる点で幾何学的なモデルを正確に求めるような処理は行わない。そのため、前記画像を生成する装置(計算機)にかかる負荷を低減することができる。前記画像を生成する装置にかかる負荷を低減できれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータのように、処理性能が低い装置でも、高速で画像を生成することが可能になる。

[0460] また、前記被写体の3次元形状を取得するときに、1つの視点から合焦距離を変えて撮影した画像を用いる場合、前記画像の撮影に用いる撮影装置は、従来のような多視点から撮影する装置に比べて小型化でき、装置構成も簡素化することができる。このとき、例えば、光学的な異方性を示し、偏光面に応じて合焦距離が異なる材質を備える偏光型二値光学系を用いて前記被写体を撮影すれば、1つの視点から合焦距離が異なる2枚の画像を撮影することができる。また、例えば、合焦距離が異なるレンズを複数個用意して、前記各レンズを高速で切り替えながら撮影すれば、1つの視点から合焦距離の異なる3枚以上の画像を撮影することができる。

[0461] [第4の実施の形態]

次に本発明の第4の実施の形態について説明する。第4の実施の形態は、主に請求項30ー請求項43に対応する実施の形態である。第4の実施の形態は、評価基準値 v_j に対する統計処理(パラメータフィッティング)に基づき存在確率を求める点に特に特徴がある。なお、第4の実施の形態を説明するための図において、同一機能を有するものは、同一符号を付ける。

[0462] 第4の実施の形態の3次元画像表示方法では、互いに異なる撮影条件で被写体を撮影した複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得し、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、DFDのように複数の表示面を備えるディスプレイに前記被写体の3次元像を表示する。前記被写体の3次元形状を取得するときには、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定し、観察者の視点から見て重なり合う複数の投影面上の点(投影点)について、前記各投影点の色情報または輝度情報、及び前記投影点上に被写体の表面が存在する確率(存在確率)を決定する。そして、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、前記複数の表示面に表示する2次元画像を生成するときに、前記投影点の色情報または輝度情報を割り当てる2次元

画像上の点に、前記色情報または輝度情報、及び存在確率を割り当て、前記画像表示面に表示するときに、2次元画像上の各点を前記存在確率の高さに応じた輝度で表示する。こうすることで、前記被写体の表面の距離に関する推定の信頼性が低い部分を曖昧に表示し、観察者の見た目に自然な3次元像を提示する。

[0463] (実施例4-1)

図66乃至図77は、実施例4-1の画像生成方法を説明するための模式図であり、図66は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図67及び図68は投影面の設定方法の一例を示す図、図69は投影点列の設定方法を説明する図、図70は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図、図71乃至図74は存在確率の決定方法を説明する図、図75乃至図77は各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

[0464] 本実施例4-1の画像生成方法は、例えば、DFDのような観察者から見て奥行き方向に重なった複数の画像表示面を有する画像表示手段に表示する画像を生成する方法であり、図66に示すように、異なる視点から物体を撮影した複数枚の画像を取得するステップ101と、表示する物体の3次元像を観察する観察者の視点(基準視点)を設定するステップ102と、前記複数枚の画像から前記物体の3次元形状を取得するステップ103と、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状に基づいて、各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップ104と、前記ステップ104で生成した各2次元画像を前記各画像表示面に表示して前記物体の3次元像を提示するステップ105とを有する。

[0465] 本実施例4-1の画像生成方法を用いて、例えば、前記DFDで物体の3次元像を表示するための画像を生成するときには、まず、異なる視点から前記物体を撮影した画像を取得する(ステップ101)。このとき、前記取得する画像を撮影する視点は、例えば、直線状に一行に並んでいても良いし、円弧状または任意の曲線上、あるいは平面または曲面上に2次元的に並んでいても良い。またこのとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例4-1では、画像上の各点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。

- [0466] 前記ステップ1で画像を取得したら、次に、前記DFDに表示される物体を観察する観察者の視点を設定する(ステップ102)。このとき、前記観察者の視点は、例えば、前記複数の画像表示面のうちの基準となる画像表示面からの距離等の前記観察者の視点と前記画像表示面の相対的な位置関係や、視線の方向等を設定する。
- [0467] 前記ステップ2で観察者の視点を設定したら、次に、前記ステップ1で取得した複数枚の画像から、前記画像に写っている物体の3次元形状を取得する(ステップ103)。前記ステップ3では、まず、多層構造の投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)を設定する(ステップ10301)。そして次に、前記物体の3次元形状を取得するための基準視点 R を設定する(ステップ10302)。このとき、前記投影面 L_j は、例えば、図67に示すように、仮想的な3次元空間上のXY平面と平行な面を複数枚設定する。またこのとき、前記各投影面 L_j は、例えば、図67及び図68に示すように、前記3次元空間上の $Z=0$ から負の方向の距離 l_j に設定する。また、前記基準視点 R は、前記物体の3次元形状を取得するための視点であり、3次元空間上の任意の点に設定することができる。そこで、前記基準視点 R は、前記ステップ2で設定した観察者の視点とし、例えば、前記 $Z=0$ から最も遠い投影面 L_1 を、前記DFDの観察者から見て最も奥にある画像表示面として、図68に示すように、前記投影面 L_1 からの距離が、前記観察者の視点から前記DFDの最も奥にある画像表示面までの距離 ld となるように設定する。
- [0468] 前記ステップ10301及びステップ10302で前記投影面 L_j 及び基準視点 R を設定したら、次に、前記投影面上の投影点、及び前記各投影点と対応する前記取得した画像上の点(対応点)等を設定する(ステップ10303)。このとき、前記投影点は、例えば、図69に示すように、前記基準視点 R から複数の方向に直線を引き、前記各直線と前記各投影面 L_j の交点に設定する。また、前記被写体の表面の距離を推定するときには、前記同一直線上にある複数の投影点 T_j に対して、どの投影点上に存在するか推定するので、図69に示したように、同一直線上にある投影点 T_j を投影点列 S としてひとまとめに扱う。
- [0469] また、前記対応点は、図67及び図68に示したように、前記投影点 T_j から前記各カメラの視点 C_i を見たときに、前記カメラの視点と重なる前記各カメラの画像面上の点 G_{ij} である。このとき、図67に示したように、前記各画像面上に2次元の座標系(xy座標

系)を設定すると、前記投影点 $T_j(X_j, Y_j, Z_j)$ と対応する対応点 G_{ij} の2次元座標 (x_{ij}, y_{ij}) は、前記投影点 T_j を各画像面上の2次元の点に射影することで求められる。この射影は、一般的な、3次元空間上の点 (X, Y, Z) を2次元平面上の点 (x, y) に射影する3行4列の射影行列を用いて行えばよい。前記仮想的な3次元空間内での前記対応点 G_{ij} の座標 (x_{ij}, y_{ij}) と、前記デジタル画像座標 (u, v) との関係は、これまでに説明した通りである。

- [0470] 前記ステップ10303では、前記対応点 G_{ij} のデジタル画像座標 (u_{ij}, v_{ij}) と前記投影点 T_j の3次元空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) の対応関係を設定する。この対応関係は、全ての (u_{ij}, v_{ij}) に対して (X_j, Y_j, Z_j) の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な (u_{ij}, v_{ij}) に対してのみ (X_j, Y_j, Z_j) の値を設定し、その他の点は、例えば、線形補完等の補完処理で求めてもよい。
- [0471] また、前記デジタル画像座標系では (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、前記2次元配列へアクセスするときに適当な離散化処理を行うものとする。
- [0472] 前記ステップ10303で前記投影点列、対応点等を決定したら、次に、前記投影面 L_j の情報、すなわち前記投影面 L_j にテクスチャマッピングする画像を格納する配列(テクスチャ配列)を確保する。(ステップ10304)。このとき、確保する配列は、前記投影点 T_j の位置に対応するテクスチャ情報として、画素毎に色情報及び存在確率の情報を、例えば、8ビットずつ持たせる。
- [0473] 前記ステップ10304で前記投影面の情報を格納する配列を確保したら、次に、各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定する(ステップ10305)。前記ステップ10305では、例えば、図70に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する(ステップ10305a)。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする。(ステップ10305b)。
- [0474] 次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報 K_i の平均値を

前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

- [0475] 次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_{ij} ($i \in I$) に写っている物体上の点の相関度 Q_j を求める(ステップ10305d)。このとき、前記相関度 Q_j は、例えば、前記投影点 T_j の色情報を表すベクトルを K_j 、各対応点 G_{ij} の色情報を表すベクトルを K_{ij} とおくと、下記数式86により求められる。

- [0476] [数86]

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

前記数式86を用いて相関度 Q_j を求めた場合、前記相関度 Q_j は、常に正の値をとり、かつ、相関が高いほど値が小さくなる。

- [0477] なお、前記数式86は前記相関度 Q_j の求め方の一例であり、前記数式86以外の数式を用いて前記相関度 Q_j を求めてもよい。また、前記相関度 Q_j を求めるときには、前記投影点 T_j と前記対応点 G_{ij} の1点だけでなく、前記投影点 T_j 及び前記対応点 G_{ij} の近傍にある複数の点を含めた小領域を考えて求めてもよい。
- [0478] 前記ステップ10305dにより、前記相関度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行ったか確認する(ステップ10305e)。ここで、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ10305cに戻って前記色情報 K_j 及び相関度 Q_j を求める。
- [0479] 処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び相関度 Q_j を求めると、図71に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び相関度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較すると、一般的には、図72(a)に示すように、ある投影点 T_m の相関度 Q_m だけが特徴的な小さな値をとる。このような場合、その投影点列上では、前記物体の表面が前記投影点 T_m 上にあると推定でき、その信頼性も高い。
- [0480] しかしながら、物体の形状や表面の模様(テクスチャ)、あるいは撮影条件等によっ

ては、投影点列上の各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較したときに、図72(b)に示すように、相関度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある1つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

[0481] そこで、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j の高さに基づいて前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を決定する。このとき、前記存在確率 β_j は、前記相関度 Q_j から直接求めることも可能であるが、取得した画像上にノイズがあり、前記相関度 Q_j の信頼性が低いと、前記存在確率 β_j もその影響を受けて信頼性が低下する。そこで、本実施例4-1の画像生成方法では、まず、前記存在確率 β_j の基準値として用いる評価基準値 v_j を求める(ステップ10305f)。このとき、前記評価基準値 v_j は、下記数式87及び数式88を満たす必要がある。

[0482] [数87]

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

[0483] [数88]

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

さらに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率が高いほど前記評価基準 v_j が1に近い値をとるようにすると、前記投影点列上の各投影点 T_j に対して求めた相関度 Q_j に対し、例えば、下記数式89及び数式90で表される変換処理を行って前記評価基準値 v_j ($j \in J$)を算出すればよい。

[0484] [数89]

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

[0485] [数90]

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

なお、前記評価基準値 v_j は、基本的には前記数式87及び数式88の条件を満たしていればよい。そのため、前記変換処理は、前記数式89及び数式90以外の数式を用いて算出してもよい。

[0486] 前記数式89及び数式90を用いて算出した各投影点 T_j の評価基準値 v_j は、前述のように、前記物体の表面が存在する確率(存在確率)として用いることも可能であるが、取得した画像上のノイズの影響により、そのままでは存在確率としての信頼性が不十分である場合が出てくる。そのため、次に、生成する物体の確率分布モデルを仮定して、前記評価基準値 v_j に対する統計処理(パラメータフィッティング)を行い、例えば、図73(a)に示すようなフィッティング関数 $p(l)$ を求める(ステップ10305g)。

[0487] ここで、前記物体が存在する確率の確率密度分布が、距離 l に対して正規分布(ガウス分布)に従うと仮定すれば、前記評価基準値 v_j のフィッティング関数 $p(l)$ は、下記数式91のように表すことができる。

[0488] [数91]

$$p(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(l-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

ここで、 μ は存在確率分布の平均値、 σ は存在確率分布の分散であり、それぞれ下記数式92, 数式93で与えられる。

[0489] [数92]

$$\mu = \sum_{j=1}^M \beta_j l_j$$

[0490] [数93]

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^M (\beta_j l_j - \mu)^2$$

前記フィッティング関数 $p(l)$ を求めたら、その関数 $p(l)$ から、各投影面 LP_l の距離 l_j 、すなわち前記各対応点 T_j に物体が存在する確率 β_j を決定する(ステップ10305h)。このとき、前記存在確率 β_j は、例えば、下記数式94を用いて決定する。

[0491] [数94]

$$\gamma_j = \int_{l_j^-}^{l_j^+} p(l) dl$$

ここで、 l_j^- , l_j^+ はそれぞれ、図73(b)に示すように、投影面 L_j に寄与する距離の下

限及び上限であり、例えば、下記数式95及び数式96で与えられる。

[0492] [数95]

$$l_j^- = \frac{l_{j-1} + l_j}{2}, \quad l_j^- = -\infty$$

[0493] [数96]

$$l_j^+ = \frac{l_j + l_{j+1}}{2}, \quad l_M^+ = \infty$$

前記ステップ10305cからステップ10305hの処理を行うと、図74に示すように、投影点列上の前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j が決定される。その値を前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

[0494] このように、ある投影点列上で表示する物体表面が存在する確率の確率密度分布を仮定できる場合、前記評価基準値 v_j のフィッティング関数 $p(l)$ に基づいて前記存在確率 β_j を求めると、撮影した画像のノイズの影響を低減することができる。

[0495] なお、前記数式91はフィッティング関数の一例であり、物体の形状分布に応じた種々の関数、例えば、ラプラス分布関数を用いてパラメータフィッティングを行ってもよい。

[0496] 前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を行ったか確認する(ステップ10305i)。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を繰り返す。

[0497] こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ1

0305cからステップ10305hまでの処理を行うと、前記ステップ10305(ステップ103)の処理が終了し、前記物体の3次元的な形状が得られる。

[0498] 前記ステップ103の処理を行うと、例えば、図74に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)のテクスチャ配列には色情報 K_j 及び存在確率 β_j が保持されている。つまり、本発明の3次元画像表示方法で取得する物体の3次元形状は、従来の方法のように前記投影点列上のある1つの投影点に物体の表面が存在するのではなく、前記各投影点に存在する。

[0499] 本実施例4-1の画像生成方法では、前記ステップ103で取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者から見た前記被写体の画像を生成する。本実施例4-1では、生成する画像はDFDのような複数の画像表示面を有するディスプレイの前記各画像表示面に表示する2次元画像の生成方法について説明する。この場合、前記ステップ103の処理が終了したら、図66に示したように、前記投影点の色情報及び存在確率を、2次元画像生成面上の点の色情報及び輝度分配係数に変換する(ステップ104)。

[0500] 前記ステップ104で、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するときには、まず、前記仮想的な3次元空間上に観察者の視点、複数枚の2次元画像生成面、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状を設定する。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n ($n=1,2,\dots,N$)は、例えば、図75に示すように、前記観察者の視点 P から見て奥行き方向に重なるように設定する。また、前記観察者の視点 P から前記各2次元画像生成面 LD_n までの距離 ld_n は、前記ステップ102で設定された距離になるように設定する。またこのとき、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j の数及び設定間隔が、前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔と一致しているとすれば、前記物体の3次元形状は、例えば、図75に示すように、前記投影面 L_j と前記2次元画像生成面 LD_n が一致するように設定する。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n が、輝度変調型DFDの各画像表示面に表示する画像を生成する面であるとすれば、観察者の視点 P から見て重なり合う前記2次元画像生成面 LD_n 上の各点(表示点) A_n に対して、色情報 KD_n 及び輝度分配係数 γ_n を決定する必要がある。ここで、図75に示すように、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j と2次元画像生成面

LD_n が一致しているのであれば、前記各表示点 A_n の色情報 KD_n は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 LD_n と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の色情報 K とする。また、前記各表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 LD_n と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を割り当てる。このようにして、前記2次元画像生成面 LD_n 上の各表示点 A に対して色情報 KD 及び輝度分配係数 γ を決定したら、その2次元画像生成面 LD_n に生成された画像を出力し、実際のDFDの画像表示面に表示する(ステップ105)。

[0501] ただし、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j の数及び設定間隔は、前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔と一致させる必要はない。そこで次に、投影面 L_j の数及び設定間隔と前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔が一致していない場合の前記2次元画像の生成方法について説明する。

[0502] このとき、前記観察者の視点 P から見て一番手前の投影面から一番奥の投影面までの距離と、一番手前の2次元画像生成面から一番奥の2次元画像生成面までの距離がほぼ等しいのであれば、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j は、例えば、図76に示すように、前記観察者の視点 P から見て一番奥の投影面 L_1 と2次元画像生成面 LD_1 が重なるように設定する。こうすると、前記観察者の視点 P から見て一番奥の2次元画像生成面 LD_1 の各表示点 A の色情報 KD 及び輝度分配係数 γ は、前記観察者の視点 P から見て一番奥の投影面 L_1 上の各投影点 T の色情報 K 及び存在確率 β である。

[0503] また、重なっている投影面がない2次元画像生成面 LD 上の各表示点 A の色情報 KD 及び輝度分配係数 γ に関しては、以下のような方法で決定する。

[0504] 前記重なっている投影面がない2次元画像生成面 LD 上の各表示点 A の色情報 KD 及び輝度分配係数 γ に関しては、例えば、前記観察者の視点 P から見て、前記各表示点 A と重なる前記各投影面 L 上の投影点 T の色情報 K 及び存在確率 β を、前記投影面 L から見て最も近い2次元画像生成面 LD 上の表示点 A に割り当てる。このとき、前記表示点 A の色情報 KD は、割り当てられた各投影点 T の色情報 K の平均値、もしくは前記表示点 A がある2次元画像生成面 LD から見て最も近い投影面 L の投影点 T の色情報 K とする。また、輝度分配係数 γ に関しては、前記割り当てられた各投

影点 T の存在確率 β の和とする。このとき、ある2次元画像生成面 LD_n が最も近い生成面となる投影面 L_j の集合を $\{L_j \mid j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記2次元画像生成面 LD_n 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式97で与えられる。

[0505] [数97]

$$\gamma_n = \sum_{j \in \Gamma_n}^M \beta_j$$

ここで、前記投影面 L_j と2次元画像生成面 LD_n が、図77(a)に示すような位置関係にある場合を考える。ここで、観察者の視点 P から見て表示点 A_1, A_2 と重なり合う各投影点 T_j ($j=1,2,3,4,5$)の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記各投影面から見て最も近い2次元画像生成面上の表示点 A に割り当てるとすれば、投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報及び存在確率は、前記表示点 A_1 に割り当てられる。このとき、前記表示点 A_1 の色情報 KD_1 は、例えば、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報 K_1, K_2, K_3 の平均値でも良いし、前記表示点 A_1 からみて最も近い投影点 T_2 の色情報 K_2 としても良い。また、前記表示点 A_1 の輝度分配係数 γ_1 は、前記数式91を用い、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ の和とする。

[0506] 同様に、前記投影点 T_4, T_5 の色情報及び存在確率は、2次元画像生成面 LD_2 に割り当てられ、表示点 A_2 の色情報 KD_2 は前記投影点 T_4, T_5 の色情報 K_4, K_5 の平均値もしくは投影点 T_5 の色情報 K_5 とする。そして、輝度分配係数 γ_2 に関しては、前記数式91を用いて前記各投影点 T_4, T_5 の存在確率 β_4, β_5 の和とする。

[0507] また、前記2次元画像生成面 LD_n の設置間隔と前記投影面 L_j の設定間隔が異なり、2枚の連続した2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の間にある投影面 L_j の投影点の色情報及び存在確率は、前記投影面 L_j と各2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の距離の比に応じて分配してもよい。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の間にある投影面 L_j の集合を $\{L_j \mid j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記2次元画像生成面 LD_n 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式98で与えること

ができる。

[0508] [数98]

$$\gamma_h = \sum_{j \in \Gamma_n} w_{j,h} \beta_j$$

前記数式98において、 $w_{j,n}$ は、投影面 L_j の2次元画像生成面 LD_n に対する寄与の度合いを表す係数である。

[0509] ここで、例えば、図77(b)に示すように、2枚の2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 の間に、投影面 L_1 , L_2 が設定されている場合を考える。このとき、投影面 L_1 と前記各表示面 LD_1 , LD_2 の距離がそれぞれ B_1 , B_2 とすると、前記投影面 L_1 の前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 に対する寄与の度合いを $w_{1,1}$, $w_{1,2}$ は、例えば、下記数式99で与えられる。

[0510] [数99]

$$w_{1,1} = \frac{B_2}{B_1 + B_2}, \quad w_{1,2} = \frac{B_1}{B_1 + B_2}$$

同様に、投影面 L_2 と前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 の距離がそれぞれ B_3 , B_4 であれば、前記投影面 L_2 の前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 に対する寄与の度合い $w_{2,1}$, $w_{2,2}$ は、下記数式100で与えられる。

[0511] [数100]

$$w_{2,1} = \frac{B_4}{B_3 + B_4}, \quad w_{2,2} = \frac{B_3}{B_3 + B_4}$$

この結果、前記2次元画像生成面 LD_1 の表示点 A_1 の輝度分配率 γ_1 及び前記表示

面LD₂の表示点A₂の輝度分配率 γ_2 はそれぞれ、下記数式101のようになる。

[0512] [数101]

$$\gamma_1 = w_{1,1} \beta_1 + w_{2,1} \beta_2, \quad \gamma_2 = w_{1,2} \beta_1 + w_{2,2} \beta_2$$

このように、前記物体の3次元形状を取得するときに、前記投影点列上の各投影点T_jの相関度Q_jから前記各投影点T_jに物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を与えた形状を取得し、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの輝度分配係数を前記存在確率 β_j で与えると、前記投影点列上の各投影点T_jに特徴的な値の相関度Q_jを持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点T_jの存在確率 β から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数 γ を決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。

[0513] 以上説明したように、本実施例4-1の画像生成方法によれば、表示する物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な3次元像を表示することができる。

[0514] また、前記存在確率 β_j を求めるときに、投影点列上で物体の表面が存在する確率の確率密度分布を仮定して、前記相関度Q_jから算出した評価基準値 ν_j の統計処理を行って求めることにより、取得した画像上のノイズによる前記存在確率 β_j の信頼性の低下を低減することができる。

[0515] また、本実施例4-1の画像生成方法では、画像上の点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記物体の3次元的な形状をする場合を例に挙げて説明したが、本実施例4-1の画像表示方法で

は、前記カラー画像に限らず、画像上の各点(画素)が輝度(Y), 色差(U, V)を用いた表現の白黒画像を取得し、前記物体の3次元的な形状を取得することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報(Y)を用いて、本実施例4-1で説明したような手順で3次元形状を取得し、前記2次元画像を生成すればよい。

(実施例4-2)

図78乃至図81は、実施例4-2の画像生成方法を説明するための模式図であり、図78は投影点と対応点の関係を示す図、図79は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図、図80及び図81は存在確率の求め方を説明する図である。

[0516] 本実施例4-2の画像生成方法は、基本的な手順の流れは、前記実施例4-1の画像生成方法と同様であり、前記DFDで表示する複数枚の2次元画像を生成するときには、図66に示したような、前記ステップ101からステップ105の処理を行う。本実施例4-2の画像生成方法において、前記実施例4-1の画像生成方法と異なる点は、前記ステップ101で、視点が異なる複数枚の画像の代わりに、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得し、前記ステップ103において、前記合焦距離が異なる画像を用いて、前記物体の3次元形状を取得する点である。

[0517] 本実施例4-2の画像生成方法を用いて、例えば、前記DFDで物体の3次元像を表示するための複数枚の2次元画像を生成するときには、まず、ある視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像を取得する。このとき、前記複数枚の画像は、例えば、偏光型二値光学系や可変焦点レンズ等を用いて撮影する。また、取得する画像は、前記実施例4-1と同様でカラー画像であっても良いし、白黒画像であっても良い。次に、前記実施例4-1で説明したように、観察者の視点を設定(ステップ102)した後、前記物体の3次元形状を取得するステップ103の処理を行う。

[0518] 前記ステップ103の処理では、前記実施例4-1で説明したように、まず、前記投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$) 及び基準視点 R を設定する(ステップ10301, ステップ10302)。そして続けて、前記投影点列や対応点を設定し、前記投影面の情報を格納する配列(領域)を確保する(ステップ10303, ステップ10304)。

本実施例4-2の3次元画像表示方法のように、合焦距離が異なる複数枚の画像を用いて物体の3次元像を表示させる場合、前記ステップ10301で投影面 L_j を設定するときには、例えば、図78に示すように、前記カメラの視点Cからの距離が前記カメラで撮影した画像の合焦距離 f_i ($i=1,2,\dots,N$)と一致するように設定する。そして、前記ステップ10303では、前記投影点 T_j に対応する対応点 G_i は、前記カメラの視点Cから前記投影点 T_j を見たときに前記投影点 T_j と重なる画像 Img_i 上の点とする。なお、投影点列の設定方法、前記投影点 T_j の座標と対応点 G_i のデジタル画像座標の対応付けに関しては、前記実施例4-1で説明したのと同様の方法で対応付ければよいので、詳細な説明は省略する。

[0519] また、前記ステップ10304の投影面の情報を格納する領域を確保する処理も、前記実施例4-1で説明した処理と同様の処理を行えばよいので、詳細な説明は省略する。

[0520] 次に、前記取得した複数枚の画像を用いて、前記各投影点 T_j の色情報及び存在確率の情報を決定する(ステップ10305)。本実施例4-2の3次元画像表示方法でも、前記ステップ10305では、例えば、図79に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する(ステップ10305a)。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする(ステップ10305b)。

[0521] 次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報の平均値を前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

[0522] 次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_i に写っている物体上の点の焦点の合っている度合い(合焦点度)から、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j を求める(ステップ10305j)。合焦点度は、画像上の点または微小領域での画像のシャープさやボケの程度により決められる。前記合焦点度の算出方法には、前述した通り、Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論に基づき、様々な方法がある。このとき、前記合焦点度 Q_j は、例えば、前記各対応点 G_i の局所空間周波数の大きさを比較すること

で求められる。

- [0523] 前記 Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論は、合焦距離の異なる複数枚の画像を解析し、前記物体の表面形状を計測する方法である。このとき、例えば、前記合焦距離を変えて撮影した画像のうち、最も局所空間周波数が高い画像の合焦距離に相当する距離に前記物体の表面があると推定できる。そこで、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j は、例えば、下記数式102で表されるような局所空間周波数の評価関数を用いて算出する。

- [0524] [数102]

$$Q = \frac{1}{D} \sum_{x=x_i}^{x_f} \sum_{y=y_i}^{y_f} \left\{ \sum_{p=-L_c}^{L_c} \sum_{q=-L_r}^{L_r} |f(x, y) - f(x+p, y+q)| \right\}$$

ここで、 f は画素の濃淡値、 D は正規化のための定数で評価を行う全ての画素数、 $(-L_c, -L_r) - (L_c, L_r)$ 及び $(x_i, y_i) - (x_f, y_f)$ はそれぞれ分散評価と平滑化を行うための小領域である。

- [0525] なお、前記数式102は前記合焦点度 Q_j の求め方の一例であり、前記数式102以外の数式を用いて前記合焦点度 Q_j を求めてもよい。
- [0526] 前記ステップ10305jにより、前記合焦点度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ10305c及びステップ10305jの処理を行ったか確認する(ステップ10305e)。ここで、前記ステップ10305c及びステップ10305jの処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ10305cに戻って前記色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を求める。
- [0527] 処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び合焦点度 Q_j を求めると、図80に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の合焦点度 Q_j は前記実施例4-1で存在確率 β を決定するときに用いた相関度に相当する度合いであり、物体の形状や表面の模様(テクスチャ)、あるいは撮影条件等によっては、投影点列上の

各投影点 T_j の合焦点度 Q_j を比較したときに、合焦点度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある1つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

[0528] そこで、本発明の3次元画像表示方法では、次に、図81に示すように、前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を決定する。このとき、前記存在確率 β_j は、前記実施例4-1で説明したように、取得した画像上のノイズによる信頼性の低下を防ぐために、評価基準値 v_j に対する統計処理を行ってから決定する(ステップ10305f)。前記ステップ10305fで評価基準値 v_j を算出するときには、前記評価基準値 v_j が、前記数式87及び数式88を満たす必要がある。そこで、本実施例4-2では、例えば、下記数式103を用いて、投影点 T_k の評価基準値 v_j を決定する。

[0529] [数103]

$$\beta_k = \frac{Q_k}{\sum_{j=1}^M Q_j}$$

なお、前記評価基準値 v_j は、基本的には前記数式87及び数式88の条件を満たしていればよい。そのため、前記評価基準値 v_j は、前記数式97以外の数式を用いて決定してもよい。

[0530] 前記ステップ10305fで評価基準値 v_j を算出したら、次に、前述のような手順でパラメータフィッティングを行い、図81に示したように、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定する(ステップ10305g, 10305h)。

[0531] 前記ステップ10305hにより、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定したら、前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

- [0532] 記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を行ったか確認する(ステップ10305i)。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を繰り返す。
- [0533] こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ10305cからステップ10305hまでの処理を行うと、前記ステップ10305の処理が終了し、前記物体の3次元的な形状が得られる。そして、前記ステップ103の処理により前記物体の3次元的な形状を取得したら、前記実施例4-1と同様の手順で、前記取得した物体の3次元形状に基づいて、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの色情報及び輝度分配係数 γ を決定し、DFDのような複数の重なり合った画像表示面に表示する2次元画像を生成し(ステップ104)、生成した画像を実際の画像表示面に表示(ステップ105)すれば、前記物体の3次元像を提示することができる。
- [0534] 本実施例4-2の3次元画像表示方法も、前記実施例4-1の3次元画像表示方法と同様に、取得した前記物体の3次元形状において、前記投影点列上の各投影点 T_j に特徴的な値の合焦点度 Q_j を持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数 γ を決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β_j が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。
- [0535] 以上説明したように、本実施例4-2の3次元画像表示方法によれば、前記実施例4-1と同様に、物体の正確な3次元形状を求めなくても、見た目に自然な3次元形状を表示することができる。

[0536] また、本実施例4-2の画像生成方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報(Y)を用いて、本実施例4-2で説明したような処理を行えばよい。

(実施例4-3)

図82乃至84は、本発明による実施例4-3の任意視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図82は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図83はレンダリングの原理を説明する図である。図84(a)及び図84(b)は存在確率を透明度に変換する処理手順の一例を示すフロー図である。

[0537] 前記実施例4-1及び実施例4-2では、前記ステップ103で取得した前記被写体の3次元形状を用いて、前記DFDのように複数の画像表示面を有する装置の前記各画像表示面で表示する2次元画像を生成する方法を例に挙げたが、前記被写体の3次元形状モデルは、これに限らず、任意の視点から見た前記被写体の2次元画像を生成するときにも用いることができる。このとき、前記実施例4-1及び前記実施例4-2と異なるのは、図82に示したように、前記ステップ103の後、レンダリング、すなわち前記被写体の3次元形状を前記観察者の視点から見た2次元画像にするステップ106を行う点である。このとき、前記ステップ101からステップ103で前記被写体の3次元形状を取得する処理は前記実施例4-1及び実施例4-2で説明しているとおりなので、詳細な説明は省略する。

[0538] また、本実施例4-3の任意視点画像生成方法において、レンダリングをするステップ106は、例えば、図83に示すように、前記表示する任意視点画像上の各点(画素)の色情報は、前記観察者の視点Pから見て、前記任意視点画像上の点Aと重なる投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)の色情報 K_j を混合処理して決定する。透明度 α_j を用いた色情報の混合処理については、第2の実施の形態における実施例2-2等で説明した通りである。

[0539] 本実施例4-3の任意視点画像の生成方法でも、例えば、図84(a)に示すように、前記存在確率 β_j を決定するステップ10305hの後、前記存在確率 ν_j を透明度 α_j に変換する処理を行う(ステップ107)。

[0540] 前記存在確率 ν_j を透明度 α_j に変換する処理は、例えば、図84(b)に示すように、

まず、投影点 T_j を初期化して $j=M$ とする(ステップ107a)。次に、前記投影点 T_M の透明度 α_M を $\alpha_M = \beta_M$ とする(ステップ107b)。

[0541] 次に、変数 j の値を $j=j-1$ に更新する(ステップ107c)。そして、透明度 α_{j+1} が1か否かを判別する(ステップ107d)。ここで、透明度 α_{j+1} が $\alpha_{j+1} \neq 1$ であれば、例えば、下記数式104から前記透明度 α_j を求める(ステップ107e)。

[0542] [数104]

$$\alpha_j = \frac{1}{\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m)} \beta_j$$

また、前記透明度 α_{j+1} が1である場合は、例えば、 $\alpha_j = 1$ とする(ステップ107f)。なお、前記ステップ107eで前記透明度 α_j を求めるときには、前記数式104に限らず、他の数式を用いて求めてもよい。また、詳細な説明は省略するが、前記ステップ107eにおいても、実際には、 α_j を任意の値にすることができるので、1以外の値にしてもよい。

[0543] 次に、前記ステップ107dからステップ107fの処理を変数 $j=1$ まで行ったか判別する(ステップ107g)。ここで、処理がまだ済んでいなければ、前記ステップ107cに戻って、処理を繰り返す。

[0544] 前記ステップ107dからステップ107fの処理を変数 $j=1$ まで行ったら、前記観察者視点 P から見て画像面上の点 A と重なる投影点 T_j の前記存在確率 v_j を透明度 α_j に変換する処理が終了する。その後、前記レンダリングのステップ104において、前記数式62及び数式63を用いた混合処理を行い、任意視点画像上の点 A の色情報 D_M を求める。そして、この処理を、前記任意視点画像上の全ての点(画素)について行えば、前記観察者の視点 P から任意視点画像が得られる。

[0545] また、本実施例4-3の画像生成方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度

情報(Y)を用いて、前記実施例4-1で説明したような処理を行って物体の3次元形状を取得した後、本実施例4-3で説明したような手順で仮想視点画像を生成すればよい。

[0546] (実施例4-4)

図85乃至図89は、本発明による実施例4-4の画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、図85及び図86は装置の構成を示すブロック図、図87乃至図88は画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

図85及び図86において、2は3次元画像生成装置、201は被写体画像取得手段、202は観察者視点設定手段、203は投影面等設定手段、204はテクスチャ配列確保手段、205は色情報／存在確率決定手段、206は投影面情報－表示面情報変換手段、207は画像出力手段、208はレンダリング手段、3は画像表示手段、4は被写体画像撮影手段、5は視点情報入力手段である。

[0547] 本実施例4-4の画像生成装置2は、前記実施例4-1及び実施例4-2で説明したような手順で物体の3次元的な形状を取得し、DFDのような複数の重なった画像表示面を持つ画像表示手段3の各画像表示面に表示する2次元画像や、任意の視点から見た前記物体の画像を生成する装置である。このとき、前記DFDで表示する画像を生成する装置の場合、例えば、図85に示すように、撮影条件が異なる複数枚の被写体画像を取得する被写体画像取得手段201と、生成する画像を見る観察者の視点を設定する観察者視点設定手段202と、存在確率を決定するための投影面、投影点、対応点を設定する投影面等設定手段203と、投影面上の点(投影点)の色情報及び存在確率を格納するテクスチャ配列を確保するテクスチャ配列確保手段204と、前記投影点の色情報及び前記投影点に物体の表面が存在する確率(存在確率)を決定する色情報／存在確率決定手段205と、前記投影点の色情報及び存在確率の情報を前記画像表示面に表示する2次元画像上の点の色情報及び存在確率に変換する投影面情報－表示面情報変換手段206と、画像出力手段207とを備える。このとき、前記画像出力手段207から出力された画像は、例えば、DFDのように、複数の重なり合う画像表示面を備える画像表示手段3で表示される。

[0548] また、実施例4-3で説明したように、前記任意の視点から見た前記物体の画像を

生成する装置の場合、図86に示すように、前記投影面情報—表示面情報変換手段206の代わりに、レンダリング手段208を備える。また、図示は省略するが、前記投影面情報—表示面情報変換手段206及び前記レンダリング手段208の両方を備え、観察者からの命令に応じて、どちらかの手段で指定された画像を生成するような構成になっていても良い。

- [0549] また、前記被写体画像取得手段201は、被写体画像撮影手段4で撮影された被写体(物体)の画像を取得する。このとき、前記被写体画像撮影手段4は、例えば、複数の視点にカメラが設置された撮影手段であってもよいし、1つの視点から焦点位置の異なる画像を撮影できる撮影手段であってもよい。またこのとき、前記被写体画像撮影手段4で、1つの視点から焦点位置の異なる画像を撮影する場合は、例えば、偏光型二値光学系(例えば、文献12を参照)や、可変焦点レンズ(例えば、文献13を参照)を用いればよい。また、その他にも、焦点位置が異なる複数枚のレンズを高速で切り替えて撮影してもよい。
- [0550] また、前記観察者視点設定手段202は、例えば、観察者が、マウスやキーボード等の視点情報入力手段5を用いて入力した情報に基づいて、前記観察者の視点から前記画像表示手段3の画像表示面までの距離等を設定する。また、前記視点情報入力手段5は、前記観察者の姿勢や視線を検知して、その姿勢や視線に応じた情報を入力する手段であってもよい。
- [0551] また、前記投影面等設定手段203は、前記実施例4-1及び実施例4-2で説明したように、例えば、互いに平行な投影面 L_j 、投影点列、対応点等を設定する。
- [0552] また、前記テクスチャ配列確保手段204は、前記実施例4-1及び実施例4-2で説明したように、投影面上の投影点 T_j の色情報及び存在確率 β_j を格納する領域を、例えば、装置内に設けられたメモリ上に確保する。
- [0553] また、前記色情報／存在確率決定手段205は、前記実施例4-1及び実施例4-2で説明したように、前記投影点 T_j と対応する画像上の対応点 G から色情報を決定するとともに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率 β_j を決定する。
- [0554] また、前記投影面情報—表示面情報変換手段207では、前記実施例4-1で説明したように、前記投影面の色情報及び存在確率を、前記画像表示手段の各画像表示

面に表示する2次元画像上の点(表示点)の色情報及び輝度分配率に変換する。また、前記投影面情報—表示面情報変換手段206の代わりに、前記レンダリング手段208を備える場合、前記実施例4-3で説明したように、前記数式59、または数式62及び数式63の関係に基づいて生成する画像上の各点の色情報を決定する。

- [0555] 本実施例4-4の画像生成装置2は、例えば、前記実施例4-1及び実施例4-2で説明したような手順で前記DFDに表示する画像を生成する。すなわち、前記3次元画像生成装置2では、従来のような物体の正確な3次元形状を求める処理を行わなくてよい。そのため、高い処理能力がない装置でも、前記DFDに表示する画像を高速に、かつ、容易に生成することができる。
- [0556] また、本実施例4-4の画像生成装置2は、例えば、コンピュータと前記コンピュータに実行させるプログラムによっても実現することができる。その場合、前記実施例4-1で説明した処理手順、もしくは前記実施例4-2で説明した処理手順に相当する命令が記述されたプログラムを前記コンピュータに実行させればよい。またこのとき、前記プログラムは、例えば、磁氣的、電氣的、光学的な記録媒体に記録して提供してもよいし、インターネット等のネットワークを利用して提供してもよい。
- [0557] また、本実施例4-4の画像生成装置2を用いた画像表示システムは、例えば、図87に示すような構成が考えられる。このとき、前記被写体画像撮影手段4は、観察者Userが前記画像表示手段(DFD)3を観察している空間に近い場所に設置されていてもよいし、地理的に遠隔な場所に設置されていてもよい。前記被写体画像撮影手段4が地理的に遠隔な場所に設置されている場合、撮影した画像は、インターネット等のネットワークを利用して、前記3次元画像生成装置2に転送すればよい。
- [0558] また、本実施例4-4の画像生成装置2を用いた画像表示システムは、図87に示したように、ある観察者Userが、ある被写体Objを観察する場合だけでなく、テレビ電話やテレビ会議といった双方向の通信システムに適用することもできる。その場合、例えば、図88に示すように、各観察者UserA, UserBがいる空間のそれぞれに、3次元画像生成装置2A, 2B、画像表示手段(DFD)3A, 3B、被写体画像撮影手段4A, 4B、基準視点設定手段5A, 5Bを設置すればよい。そして、例えば、前記各観察者UserA, UserBがいる空間に設置された画像生成装置2A, 2Bを、インターネット等の

ネットワーク6で接続しておけば、観察者UserAは、被写体画像撮影手段4Bで撮影された画像から生成した観察者UserBの3次元像を前記画像表示手段3Aで観察することができる。同様に、観察者UserBは、被写体画像撮影手段4Aで撮影された画像から生成した観察者UserAの3次元像を前記画像表示手段3Bで観察することができる。

- [0559] また、このような双方向の通信システムに適用する場合、前記各画像生成手段2A, 2Bが、図88に示したような構成になっている必要はなく、前記画像生成装置2A, 2Bのどちらかは、図86に示したような構成手段を備えていない一般的な通信端末であってもよい。また、図86に示したような各構成手段が、前記画像生成装置2A, 2Bに割り振られていてもよい。
- [0560] また、図88に示したように、ネットワーク6上に他の画像生成装置2Cが設けられていれば、前記観察者UserA, UserBがいる空間に、前記画像生成装置2A, 2Bが設置されていなくても、前記ネットワーク6上の画像生成装置2Cを利用して、前記画像表示手段(DFD)3A, 3Bで表示する物体の3次元像を取得することができる。
- [0561] また、図87及び図88では、前記被写体画像撮影手段4は、カメラが複数個設けられているシステムを示しているが、前記実施例4-2で説明したように、合焦距離が異なる画像から物体の3次元的な形状を取得するときは、例えば、図89に示すように、表示画像を生成するときには、カメラが1つであってもよい。
- [0562] 以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更可能であることはもちろんである。
- [0563] 例えば、前記実施例4-1では、視点が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明し、前記実施例4-2では、合焦距離が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明したが、これらの方法を組み合わせて物体の3次元像を表示させてもよい。その場合、ある投影点 T_j について、視点が異なる画像の対応点から相関度を求め、ある視点から焦点位置を変えた画像の対応点から局所空間周波数を求め、それらを組み合わせて存在確率 β_j を求める。こうすると、前記存在確率 β_j の信頼性が高くなり、観察者の見た目により自然な画像を表示することができる。

。

[0564] (第4の実施の形態の効果)

第4の実施の形態の画像生成方法では、前記被写体の3次元形状を取得するときに、前述のように、複数の投影面を設定し、前記基準視点から見て重なり合う前記各投影面上の点(投影点)に対して、前記各投影点上に前記被写体の表面が存在する確率(存在確率)を与える。すなわち、従来の3次元形状を取得する方法のように、前記基準視点から見て重なり合う投影点のうちの1つの投影点上に物体の表面が存在すると考えず、前記各投影点上に、ある確率で前記被写体の表面が存在すると考える。また、前記存在確率を決定するときに、前記各投影点の相関度あるいは合焦点度から算出した評価基準値を統計処理した後、前記統計処理をした評価基準値から前記各投影点の存在確率を生成する。このとき、前記統計処理は前記被写体の確率分布モデルを仮定して、前記各投影点の評価基準値のフィッティング関数を求め、そこから、前記各投影点の存在確率を決定する。

[0565] このようにすると、前記基準視点からある方向を見たときに、被写体の表面がどの距離(投影点)にあるか推定するときの信頼性が低い場合でも、実際に前記被写体の表面が存在する距離に相当する投影点上に、ある確率で前記被写体の表面が存在する。そのため、前記手順で取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成することにより、従来の方法で距離の推定を誤ったときに生じるような不連続なノイズが目立ちにくくなる。また、前記評価基準値の統計処理をして存在確率を決定することで、前記取得した画像のノイズの影響による前記存在確率の信頼性の低下を低減することができる。

[0566] また、本実施の形態によれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータのように、処理性能が低い装置でも、高速で前記各2次元画像を生成することが可能になる。

[0567] [第5の実施の形態]

次に本発明の第5の実施の形態について説明する。第5の実施の形態は、主に請求項44〜請求項53に対応する実施の形態である。第5の実施の形態では、互いに異なる撮影条件で被写体を撮影した複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を

取得し、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、DFDのように複数の表示面を備えるディスプレイに前記被写体の3次元像を表示する。なお、第5の実施の形態では、第4の実施の形態で説明したパラメータフィッティングの処理は行っていない。なお、第5の実施の形態を説明するための図において、同一機能を有するものは、同一符号を付ける。

- [0568] 前記被写体の3次元形状を取得するときには、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定し、観察者の視点から見て重なり合う複数の投影面上の点(投影点)について、前記各投影点の色情報または輝度情報、及び前記投影点上に被写体の表面が存在する確率(存在確率)を決定する。そして、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、前記複数の表示面に表示する2次元画像を生成するときに、前記投影点の色情報または輝度情報を割り当てる2次元画像上の点に、前記色情報または輝度情報、及び存在確率を割り当て、前記画像表示面に表示するときに、2次元画像上の各点を前記存在確率の高さに応じた輝度で表示する。こうすることで、前記被写体の表面の距離に関する推定の信頼性が低い部分を曖昧に表示し、観察者の見た目に自然な3次元像を提示する。

- [0569] (実施例5-1)

図90乃至図100は、本発明による実施例5-1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、図90は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図91及び図92は投影面の設定方法の一例を示す図、図93は投影点列の設定方法を説明する図、図94は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図、図95乃至図97は存在確率の決定方法を説明する図、図98乃至図100は各画像表示面に表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

- [0570] 本実施例5-1の3次元画像表示方法は、例えば、図90に示すように、異なる視点から物体を撮影した複数枚の画像を取得するステップ101と、表示する物体の3次元像を観察する観察者の視点(基準視点)を設定するステップ102と、前記複数枚の画像から前記物体の3次元形状を取得するステップ103と、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状に基づいて、各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップ104と、前記ステップ104で生成した各2次元画像を前記各画像表示面

に表示して前記物体の3次元像を提示するステップ105とを有する。

- [0571] 本実施例5-1の3次元画像表示方法を用いて、前記DFDに物体の3次元像を表示するときには、まず、異なる視点から前記物体を撮影した画像を取得する(ステップ101)。このとき、前記取得する画像を撮影する視点は、例えば、直線状に一系列に並んでいても良いし、円弧状または任意の曲線上、あるいは平面または曲面上に2次元的に並んでいても良い。またこのとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例5-1では、画像上の各点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。
- [0572] 前記ステップ101で画像を取得したら、次に、前記DFDに表示される物体を観察する観察者の視点を設定する(ステップ102)。このとき、前記観察者の視点は、例えば、前記複数の画像表示面のうちの基準となる画像表示面からの距離等の前記観察者の視点と前記画像表示面の相対的な位置関係や、視線の方向等を設定する。
- [0573] 前記ステップ102で観察者の視点を設定したら、次に、前記ステップ101で取得した複数枚の画像から、前記画像に写っている物体の3次元形状を取得する(ステップ103)。前記ステップ103では、まず、多層構造の投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)を設定する(ステップ10301)。そして次に、前記物体の3次元形状を取得するための基準視点 R を設定する(ステップ10302)。このとき、前記投影面 L_j は、例えば、図91に示すように、仮想的な3次元空間上のXY平面と平行な面を複数枚設定する。またこのとき、前記各投影面 L_j は、例えば、図92に示すように、前記3次元空間上の $Z=0$ から負の方向の距離 l_j に設定する。また、前記基準視点 R は、前記物体の3次元形状を取得するための視点であり、3次元空間上の任意の点に設定することができる。そこで、前記基準視点 R は、前記ステップ102で設定した観察者の視点とし、例えば、前記 $Z=0$ から最も遠い投影面 L_1 を、前記DFDの観察者から見て最も奥にある画像表示面として、図92に示すように、前記投影面 L_1 からの距離が、前記観察者の視点から前記DFDの最も奥にある画像表示面までの距離 ld となるように設定する。
- [0574] 前記ステップ10301及びステップ10302で前記投影面 L_j 及び基準視点 R を設定したら、次に、前記投影面上の投影点、及び前記各投影点と対応する前記取得した画像上の点(対応点)等を設定する(ステップ10303)。このとき、前記投影点は、例え

ば、図93に示すように、前記基準視点Rから複数の方向に直線を引き、前記各直線と前記各投影面 L_j の交点に設定する。また、前記被写体の表面の距離を推定するときには、前記同一直線上にある複数の投影点 T_j に対して、どの投影点上に存在するか推定するので、図93に示したように、同一直線上にある投影点 T_j を投影点列Sとしてひとまとめに扱う。

[0575] また、前記対応点は、図91及び図92に示したように、前記投影点 T_j から前記各カメラの視点 C_i を見たときに、前記カメラの視点と重なる前記各カメラの画像面上の点 G_{ij} である。このとき、図91に示したように、前記各画像面上に2次元の座標系(xy座標系)を設定すると、前記投影点 $T_j(X_j, Y_j, Z_j)$ と対応する対応点 G_{ij} の2次元座標 (x_{ij}, y_{ij}) は、前記投影点 T_j を各画像面上の2次元の点に射影することで求められる。この射影は、一般的な、3次元空間上の点 (X, Y, Z) を2次元平面上の点 (x, y) に射影する3行4列の射影行列を用いて行えばよい。また、仮想的な3次元空間内での前記対応点 G_{ij} の座標 (x_{ij}, y_{ij}) と、前記デジタル画像座標 (u, v) との関係は他の実施の形態で説明したものと同様である。

[0576] 前記ステップ10303では、前記対応点 G_{ij} のデジタル画像座標 (u_{ij}, v_{ij}) と前記投影点 T_j の3次元空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) の対応関係を設定する。この対応関係は、全ての (u_{ij}, v_{ij}) に対して (X_j, Y_j, Z_j) の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な (u_{ij}, v_{ij}) に対してのみ (X_j, Y_j, Z_j) の値を設定し、その他の点は、例えば、線形補完等の補完処理で求めてもよい。

[0577] また、前記デジタル画像座標系では (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、前記2次元配列へアクセスするときに適当な離散化処理を行うものとする。

[0578] 前記ステップ10303で前記投影点列、対応点等を決定したら、次に、前記投影面 L_j の情報、すなわち前記投影面 L_j にテクスチャマッピングする画像を格納する配列を確保する。(ステップ10304)。このとき、確保する配列は、前記投影点 T_j の位置に対応するテクスチャ情報として、画素毎に色情報(R, G, B)及び存在確率の情報を、例えば、8ビットずつ持たせる。

[0579] 前記ステップ10304で前記投影面の情報を格納する配列を確保したら、次に、各

投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定する(ステップ10305)。前記ステップ10305では、例えば、図94に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する(ステップ10305a)。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする。(ステップ10305b)。

[0580] 次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報 K_i の平均値を前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

[0581] 次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_{ij} ($i \in I$)に写っている物体上の点の相関度 Q_j を求める(ステップ10305d)。このとき、前記相関度 Q_j は、例えば、前記投影点 T_j の色情報を表すベクトルを K_j 、各対応点 G_{ij} の色情報を表すベクトルを K_{ij} とおくと、第4の実施の形態と同様に、下記数式105により求める。

[0582] [数105]

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

前記数式105を用いて相関度 Q_j を求めた場合、前記相関度 Q_j は、常に正の値を取り、かつ、相関が高いほど値が小さくなる。

[0583] なお、前記数式105は前記相関度 Q_j の求め方の一例であり、前記数式105以外の数式を用いて前記相関度 Q_j を求めてもよい。また、前記相関度 Q_j を求めるときには、前記投影点 T_j と前記対応点 G_{ij} の1点だけでなく、前記投影点 T_j 及び前記対応点 G_{ij} の近傍にある複数の点を含めた小領域を考えて求めてもよい。

[0584] 前記ステップ10305dにより、前記相関度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行ったか確認する(ステップ10305e)。ここで、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行っていない投影点があれば、前記ステ

ップ10305cに戻って前記色情報 K_j 及び相関度 Q_j を求める。

[0585] 処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び相関度 Q_j を求めると、図95に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び相関度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較すると、一般的には、図96(a)に示すように、ある投影点 T_m の相関度 Q_m だけが特徴的な小さな値をとる。このような場合、その投影点列投上では、前記物体の表面が前記投影点 T_m 上にあると推定でき、その信頼性も高い。

[0586] しかしながら、これまでの実施の形態においても説明した通り、物体の形状や表面の模様(テクスチャ)、あるいは撮影条件等によっては、投影点列上の各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較したときに、図96(b)に示すように、相関度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある1つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

[0587] そこで、本発明の3次元画像表示方法では、次に、前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を決定する(ステップ10305f)。このとき、前記存在確率 β_j は、下記数式106及び数式107を満たす必要がある。

[0588] [数106]

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

[0589] [数107]

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

さらに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率が高いほど前記存在確率 β_j が1に近い値をとるようにすると、前記投影点列上の各投影点 T_j に対して求めた相関

度 Q_j に対し、例えば、下記数式108及び数式109で表される変換処理を行って前記存在確率 β_j ($j \in J$)を決定すればよい。

[0590] [数108]

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

[0591] [数109]

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

なお、前記存在確率 β_j は、基本的には前記数式106及び数式107の条件を満たしていればよい。そのため、前記変換処理は、前記数式108及び数式109以外の数式を用いて決定してもよい。

[0592] 前記ステップ10305fにより、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定したら、前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

[0593] 記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行ったか確認する(ステップ10305g)。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を繰り返す。

[0594] こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行うと、前記ステップ10305の処理が終了

し、前記物体の3次元的な形状が得られる。

[0595] 前記ステップ103の処理を行うと、例えば、図97に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j ($j=1,2,\dots,M$)のテクスチャ配列には色情報 K_j 及び存在確率 β_j が保持されている。つまり、本発明の3次元画像表示方法で取得する物体の3次元形状は、従来の方法のように前記投影点列上のある1つの投影点に物体の表面が存在するのではなく、前記各投影点に存在する。本発明の3次元画像表示方法では、このような物体の3次元形状を用いて、前記複数の画像表示面のそれぞれに表示する2次元画像を生成する(ステップ104)。

[0596] 前記ステップ104で、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するときには、まず、前記仮想的な3次元空間上に観察者の視点、複数枚の2次元画像生成面、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状を設定する。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n ($n=1,2,\dots,N$)は、例えば、図98に示すように、前記観察者の視点 P から見て奥行き方向に重なるように設定する。また、前記観察者の視点 P から前記各2次元画像生成面 LD_n までの距離 ld_n は、前記ステップ102で設定された距離になるように設定する。またこのとき、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j の数及び設定間隔が、前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔と一致しているとするれば、前記物体の3次元形状は、例えば、図98に示すように、前記投影面 L_j と前記2次元画像生成面 LD_n が一致するように設定する。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n が、輝度変調型DFDの各画像表示面に表示する画像を生成する面であるとすれば、観察者の視点 P から見て重なり合う前記2次元画像生成面 LD_n 上の各点(表示点) A_n に対して、色情報 KD_n 及び存在確率(輝度分配係数) γ_n を決定する必要がある。ここで、図98に示すように、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j と2次元画像生成面 LD_n が一致しているのであれば、前記各表示点 A_n の色情報 KD_n は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 LD_n と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の色情報 K_j とする。また、前記各表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 LD_n と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を割り当てる。このようにして、前記2次元画像生成面 LD_n 上の各表示点 A に対して色情報 KD 及び輝度分配係数 γ を決定したら、その2次元画像生成面 LD_n に生成された画像

を出力し、実際のDFDの画像表示面に表示する(ステップ105)。

- [0597] ただし、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j の数及び設定間隔は、前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔と一致させる必要はない。そこで次に、投影面 L_j の数及び設定間隔と前記2次元画像生成面 LD_n の数及び設定間隔が一致していない場合の前記2次元画像の生成方法について説明する。
- [0598] このとき、前記観察者の視点Pから見て一番手前の投影面から一番奥の投影面までの距離と、一番手前の2次元画像生成面から一番奥の2次元画像生成面までの距離がほぼ等しいのであれば、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j は、例えば、図99に示すように、前記観察者の視点Pから見て一番奥の投影面 L_1 と2次元画像生成面 LD_1 が重なるように設定する。こうすると、前記観察者の視点Pから見て一番奥の2次元画像生成面 LD_1 の各表示点Aの色情報KD及び輝度分配係数 γ は、前記観察者の視点Pから見て一番奥の投影面 L_1 上の各投影点Tの色情報K及び存在確率 β である。
- [0599] また、重なっている投影面がない2次元画像生成面 LD 上の各表示点Aの色情報KD及び輝度分配係数 γ に関しては、以下のような方法で決定する。
- [0600] 前記重なっている投影面がない2次元画像生成面 LD 上の各表示点Aの色情報KD及び輝度分配係数 γ に関しては、例えば、前記観察者の視点Pから見て、前記各表示点Aと重なる前記各投影面 L 上の投影点Tの色情報K及び存在確率 β を、前記投影面 L から見て最も近い2次元画像生成面 LD 上の表示点Aに割り当てる。このとき、前記表示点Aの色情報KDは、割り当てられた各投影点Tの色情報Kの平均値、もしくは前記表示点Aがある2次元画像生成面 LD から見て最も近い投影面 L の投影点Tの色情報Kとする。また、輝度分配係数 γ に関しては、前記割り当てられた各投影点Tの存在確率 β の和とする。このとき、ある2次元画像生成面 LD_n が最も近い生成面となる投影面 L_j の集合を $\{L_j \mid j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記2次元画像生成面 LD_n 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式110で与えられる。

[0601] [数110]

$$\gamma_n = \sum_{j \in \Gamma_n} \beta_j$$

ここで、前記投影面 L_j と2次元画像生成面 LD_n が、図100(a)に示すような位置関係にある場合を考える。ここで、観察者の視点 P から見て表示点 A_1, A_2 と重なり合う各投影点 T_j ($j=1,2,3,4,5$)の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記各投影面から見て最も近い2次元画像生成面上の表示点 A に割り当てるとすれば、投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報及び存在確率は、前記表示点 A_1 に割り当てられる。このとき、前記表示点 A_1 の色情報 KD_1 は、例えば、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報 K_1, K_2, K_3 の平均値でも良いし、前記表示点 A_1 からみて最も近い投影点 T_2 の色情報 K_2 としても良い。また、前記表示点 A_1 の輝度分配係数 γ_1 は、前記数式110を用い、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ の和とする。

[0602] 同様に、前記投影点 T_4, T_5 の色情報及び存在確率は、2次元画像生成面 LD_2 に割り当てられ、表示点 A_2 の色情報 KD_2 は前記投影点 T_4, T_5 の色情報 K_4, K_5 の平均値もしくは投影点 T_5 の色情報 K_5 とする。そして、輝度分配係数 γ_2 に関しては、前記数式110を用いて前記各投影点 T_4, T_5 の存在確率 β_4, β_5 の和とする。

[0603] また、前記2次元画像生成面 LD_n の設置間隔と前記投影面 L_j の設定間隔が異なり、2枚の連続した2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の間にある投影面 L_j の投影点の色情報及び存在確率は、前記投影面 L_j と各2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の距離の比に応じて分配してもよい。このとき、前記2次元画像生成面 LD_n, LD_{n+1} の間にある投影面 L_j の集合を $\{L_j \mid j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記2次元画像生成面 LD_n 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式11で与えることができる。

。

[0604] [数111]

$$\gamma_n = \sum_{j \in \Gamma_n} w_{j,n} \beta_j$$

前記数式111において、 $w_{j,n}$ は、投影面 L_j の2次元画像生成面 LD_n に対する寄与の度合いを表す係数である。

[0605] ここで、例えば、図100(b)に示すように、2枚の2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 の間に、投影面 L_1 , L_2 が設定されている場合を考える。このとき、投影面 L_1 と前記各表示面 LD_1 , LD_2 の距離がそれぞれ B_1 , B_2 とすると、前記投影面 L_1 の前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 に対する寄与の度合い $w_{1,1}$, $w_{1,2}$ は、例えば、下記数式112で与えられる。

[0606] [数112]

$$w_{1,1} = \frac{B_2}{B_1 + B_2}, \quad w_{1,2} = \frac{B_1}{B_1 + B_2}$$

同様に、投影面 L_2 と前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 の距離がそれぞれ B_3 , B_4 とすれば、前記投影面 L_2 の前記各2次元画像生成面 LD_1 , LD_2 に対する寄与の度合い $w_{2,1}$, $w_{2,2}$ は、下記数式113で与えられる。

[0607] [数113]

$$w_{2,1} = \frac{B_4}{B_3 + B_4}, \quad w_{2,2} = \frac{B_3}{B_3 + B_4}$$

この結果、前記2次元画像生成面 LD_1 の表示点 A_1 の輝度分配率 γ_1 及び前記表示

面LD₂の表示点A₂の輝度分配率 γ_2 はそれぞれ、下記数式114のようになる。

[0608] [数114]

$$\gamma_1 = w_{1,1} \beta_1 + w_{2,1} \beta_2, \quad \gamma_2 = w_{1,2} \beta_1 + w_{2,2} \beta_2$$

このように、前記物体の3次元形状を取得するときに、前記投影点列上の各投影点T_jの相関度Q_jから前記各投影点T_jに物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を与えた形状を取得し、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの輝度分配係数を前記存在確率 β_j で与えると、前記投影点列上の各投影点T_jに特徴的な値の相関度Q_jを持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点T_jの存在確率 β から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数 γ を決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。

[0609] 以上説明したように、本実施例5-1の3次元画像表示方法によれば、表示する物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な3次元像を表示することができる。

[0610] また、本実施例5-1の画像表示方法では、画像上の点(画素)が赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記物体の3次元的な形状をする場合を例に挙げて説明したが、本実施例5-1の画像表示方法では、前記カラー画像に限らず、画像上の各点(画素)が輝度(Y)、色差(U、V)を用いた表現の白黒画像を取得し、前記物体の3次元的な形状を取得することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報(Y)を用いて、本実施例5-1で説明したような手順で3次元形状を取得し、前

記2次元画像を生成すればよい。

[0611] (実施例5-2)

図101乃至図104は、本発明による実施例5-2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、図101は投影点と対応点の関係を示す図、図102は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図、図103及び図104は存在確率の求め方を説明する図である。

[0612] 本実施例5-2の3次元画像表示方法は、基本的な手順の流れは、前記実施例5-1の3次元画像表示方法と同様であり、図90に示したような、前記ステップ101からステップ105の処理を行う。本実施例5-2の3次元画像表示方法において、前記実施例5-1の3次元画像表示方法と異なる点は、前記ステップ101で、視点が異なる複数枚の画像の代わりに、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得し、前記ステップ103において、前記合焦距離が異なる画像を用いて、前記物体の3次元形状を取得する点である。

[0613] 本実施例5-2の3次元画像表示方法を用いて、前記DFDに物体の3次元像を表示するときには、まず、ある視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像を取得する。このとき、前記複数枚の画像は、例えば、偏光型二値光学系や可変焦点レンズ等を用いて撮影される。また、取得する画像は、前記実施例5-1と同様でカラー画像であっても良いし、白黒画像であっても良い。次に、前記実施例5-1で説明したように、観察者の視点を設定(ステップ102)した後、前記物体の3次元形状を取得するステップ103の処理を行う。

[0614] 前記ステップ103の処理では、前記実施例5-1で説明したように、まず、前記投影面 L_j ($j=1,2,\dots,M$)及び基準視点 R を設定する(ステップ10301, ステップ10302)。そして続けて、前記投影点列や対応点を設定し、前記投影面の情報を格納する配列(領域)を確保する(ステップ10303, ステップ10304)。

[0615] 本実施例5-2の3次元画像表示方法のように、合焦距離が異なる複数枚の画像を用いて物体の3次元像を表示させる場合、前記ステップ10301で投影面 L_j を設定するときには、例えば、図101に示すように、前記カメラの視点 C からの距離が前記カメラで撮影した画像の合焦距離 f_i ($i=1,2,\dots,N$)と一致するように設定する。そして、前記

ステップ10303では、前記投影点 T_j に対応する対応点 G_i は、前記カメラの視点Cから前記投影点 T_j を見たときに前記投影点 T_j と重なる画像 Img_i 上の点とする。なお、投影点列の設定方法、前記投影点 T_j の座標と対応点 G_i のデジタル画像座標の対応付けに関しては、前記実施例5-1で説明したのと同様の方法で対応付ければよいので、詳細な説明は省略する。

[0616] また、前記ステップ10304の投影面の情報を格納する領域を確保する処理も、前記実施例5-1で説明した処理と同様の処理を行えばよいので、詳細な説明は省略する。

[0617] 次に、前記取得した複数枚の画像を用いて、前記各投影点 T_j の色情報及び存在確率の情報を決定する(ステップ10305)。本実施例5-2の3次元画像表示方法でも、前記ステップ10305では、例えば、図102に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する(ステップ10305a)。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする。(ステップ10305b)。

[0618] 次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報の平均値を前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

[0619] 次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_i に写っている物体上の点の焦点の合っている度合い(合焦点度)から、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j を求める(ステップ10305h)。合焦点度は、画像上の点または微小領域での画像のシャープさやボケの程度により決められる。前記合焦点度の算出方法には、Depth from Focus 理論もしくはDepth from Defocus 理論に基づき、様々な方法がある。このとき、前記合焦点度 Q_j は、例えば、前記各対応点 G_i の局所空間周波数の大きさを比較することで求められる。

[0620] 前記 Depth

from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論は、合焦距離の異なる複数枚の画像を解析し、前記物体の表面形状を計測する方法である。このとき、例えば、前記合焦距離を変えて撮影した画像のうち、最も局所空間周波数が高い画像の合焦距

離に相当する距離に前記物体の表面があると推定できる。そこで、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j は、例えば、下記数式115で表されるような局所空間周波数の評価関数を用いて算出する。

[0621] [数115]

$$Q = \frac{1}{D} \sum_{x=x_i, y=y_i}^{x_f, y_f} \left\{ \sum_{p=-L_c}^{L_c} \sum_{q=-L_r}^{L_r} |f(x, y) - f(x+p, y+q)| \right\}$$

ここで、 f は画素の濃淡値、 D は正規化のための定数で評価を行う全ての画素数、 $(-L_c, -L_r) \sim (L_c, L_r)$ 及び $(x_i, y_i) \sim (x_f, y_f)$ はそれぞれ分散評価と平滑化を行うための小領域である。

[0622] なお、前記数式115は前記合焦点度 Q_j の求め方の一例であり、前記数式115以外の数式を用いて前記合焦点度 Q_j を求めてもよい。

[0623] 前記ステップ10305hにより、前記合焦点度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ10305c及びステップ10305hの処理を行ったか確認する(ステップ10305e)。ここで、前記ステップ10305c及びステップ10305hの処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ10305cに戻って前記色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を求める。

[0624] 処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び合焦点度 Q_j を求めると、図103に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の合焦点度 Q_j は前記実施例5-1で存在確率 β を決定するときに用いた相関度に相当する度合いであり、物体の形状や表面の模様(テクスチャ)、あるいは撮影条件等によっては、投影点列上の各投影点 T_j の合焦点度 Q_j を比較したときに、合焦点度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある1つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

[0625] そこで、本発明の3次元画像表示方法では、次に、前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率(存在確率) β_j を決定する(ステップ10305f)。このとき、前記存在確率 β_j は、前記数式106及び数式107を満たす必要がある。そこで、本実施例5-2では、例えば、下記数式116を用いて、投影点 T_k の存在確率 β_k を決定する。

[0626] [数116]

$$\beta_k = \frac{Q_k}{\sum_{j=1}^M Q_j}$$

なお、前記存在確率 β_j は、基本的には前記数式106及び数式107の条件を満たしていればよい。そのため、前記存在確率は、前記数式116以外の数式を用いて決定してもよい。

[0627] 前記ステップ10305fにより、図104に示すように、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定したら、前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

[0628] 記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行ったか確認する(ステップ10305g)。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を繰り返す。

[0629] こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行うと、前記ステップ10305の処理が終了し、前記物体の3次元的な形状が得られる。そして、前記ステップ103の処理により前記物体の3次元的な形状を取得したら、前記実施例5-1と同様の手順で、前記取得

した物体の3次元形状に基づいて、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの色情報及び輝度分配係数 γ を決定し、DFDのような複数の重なり合った画像表示面に表示する2次元画像を生成し(ステップ104)、生成した画像を実際の画像表示面に表示(ステップ105)すれば、前記物体の3次元像を提示することができる。

[0630] 本実施例5-2の3次元画像表示方法も、前記実施例5-1の3次元画像表示方法と同様に、取得した前記物体の3次元形状において、前記投影点列上の各投影点 T_j に特徴的な値の合焦点度 Q を持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点 T_j の存在確率 β から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数 γ を決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。

[0631] 以上説明したように、本実施例5-2の3次元画像表示方法によれば、前記実施例5-1と同様に、物体の正確な3次元形状を求めなくても、見た目に自然な3次元形状を表示することができる。

[0632] また、本実施例5-2の画像表示方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報(Y)を用いて、本実施例5-2で説明したような処理を行えばよい。

[0633] (実施例5-3)

本実施の形態においても、第4の実施の形態における図85に示した構成と同様の3次元画像生成装置を構成できる。また、第4の実施の形態における図87-89に示した構成と同様の画像表示システムを構成できる。但し、装置が実行する処理は、実施例5-1、5-2に対応するものである。

[0634] 以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更可能

であることはもちろんである。

- [0635] 例えば、前記実施例5-1では、視点が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明し、前記実施例5-2では、焦点位置が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明したが、これらの方法を組み合わせて物体の3次元像を表示させてもよい。その場合、ある投影点 T_j について、視点が異なる画像の対応点から相関度を求め、ある視点から焦点位置を変えた画像の対応点から局所空間周波数を求め、それらを組み合わせて存在確率 β_j を求める。こうすると、前記存在確率 β_j の信頼性が高くなり、観察者の見た目により自然な画像を表示することができる。

- [0636] (第5の実施の形態の効果)

第5の実施の形態に係る3次元画像表示方法においても、基準視点からある方向を見たときに、被写体の表面がどの距離(投影点)にあるか推定するときの信頼性が低い場合でも、実際に前記被写体の表面が存在する距離に相当する投影点上に、ある確率で前記被写体の表面が存在する。そのため、前記画像表示面上の各点を、前記存在確率の高さに応じた輝度で表示することにより、従来の方法で距離の推定を誤ったときに生じるような不連続なノイズが目立ちにくくなる。また、一般に普及しているパーソナル・コンピュータのように、処理性能が低い装置でも、高速で前記各2次元画像を生成することが可能になる。

- [0637] 本発明は、上記の各実施の形態に限定されることなく、特許請求の範囲内で種々変更・応用が可能である。

請求の範囲

- [1] 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置である仮想視点を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに、前記視点から被写体を見たときの画像である仮想視点画像を生成するステップとを有する仮想視点画像生成方法において、
- 前記仮想視点画像を生成するステップは、
- 多層構造をもつ投影面を設定するステップ1と、
- 前記投影面上の各投影点と対応する、前記各被写体の画像上の対応点を求めるステップ2と、
- 複数の対応点の色情報または輝度情報に基づいて前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップ3と、
- 空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ4と、
- 前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報または輝度情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報または輝度情報を決定するステップ5と、
- 前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ1からステップ5までを繰り返し行うステップ6とを有することを特徴とする仮想視点画像生成方法。
- [2] 前記ステップ3は、
- 前記複数の対応点の色情報または輝度情報を混合する、もしくは前記複数の対応点の色情報または輝度情報の中から1つの対応点の色情報または輝度情報を選択することを特徴とする請求項1に記載の仮想視点画像生成方法。
- [3] 前記ステップ4または前記ステップ5は、前記被写体が存在する可能性の度合いを変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、
- 前記ステップ5は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明

度に応じた混合処理をすることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の仮想視点画像生成方法。

- [4] 前記ステップ5の混合処理は、
前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、
ある投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項3に記載の仮想視点画像生成方法。
- [5] 前記ステップ1は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を設定し、
前記ステップ3の前記投影点の色情報または輝度情報は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報または輝度情報のみを用いて決定し、
前記ステップ4の前記被写体が存在する可能性の度合いは、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、
前記ステップ5の前記仮想視点の色情報または輝度情報の混合処理は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正することを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の仮想視点画像生成方法。
- [6] 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記被写体を見る位置である仮想視点を決定する仮想視点決定手段と、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像である仮想視点画像を生成する画像生成手段とを備える仮想視点画像生成装置において、
前記画像生成手段は、
多層構造をもつ投影面を決定する投影面決定手段と、
基準視点の位置を決定する基準視点決定手段と、
前記投影面に貼り付けるテクスチャ画像の配列を確保するテクスチャ配列確保手段と、
前記複数枚の被写体の画像間で、前記被写体の同一の領域が撮影されている箇所に対応付けを行う対応点マッチング処理手段と、

前記複数枚の被写体の画像を混合処理して、前記テクスチャ画像の配列のうちの色情報または輝度情報を決定する色情報決定手段と、

前記対応点マッチング処理手段の処理結果に基づいて、前記テクスチャ画像の配列のうちの、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いである存在確率情報を決定する存在確率情報決定手段と、

前記色情報決定手段で決定した色情報または輝度情報及び前記存在確率情報決定手段で決定した存在確率情報に基づいて、前記仮想視点から見た前記投影面をレンダリングするレンダリング手段とを備えることを特徴とする仮想視点画像生成装置。

[7] 前記存在確率情報決定手段は、

前記存在確率情報を変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する手段を備え、

前記レンダリング手段は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明度を用いてレンダリングすることを特徴とする請求項6に記載の仮想視点画像生成装置。

[8] レンダリング手段は、

前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理する手段を備え、

ある投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項7に記載の仮想視点画像生成装置。

[9] 前記投影面決定手段は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を決定し、

前記色情報決定手段は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報または輝度情報のみを用いて決定し、

前記存在確率情報決定手段は、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、

前記レンダリング手段は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正する手段を備えることを特徴とする請求項6乃至請求項8のいずれか1項に記載の仮想視点画像生成装置。

- [10] コンピュータに、
- 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置である仮想視点を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに、前記視点から被写体を見たときの画像である仮想視点画像を生成するステップとを実行させる仮想視点画像生成プログラムにおいて、
- 前記仮想視点画像を生成するステップは、
- 多層構造をもつ投影面を設定するステップ1と、
- 前記投影面上の各投影点と対応する、前記各被写体の画像上の対応点を求めるステップ2と、
- 複数の対応点の色情報または輝度情報に基づいて前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップ3と、
- 空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ4と、
- 前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報または輝度情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報または輝度情報を決定するステップ5と、
- 前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ1からステップ5までを繰り返し行うステップ6とを有することを特徴とする仮想視点画像生成プログラム。
- [11] 請求項10に記載の仮想視点画像生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
- [12] 複数の異なる視点から被写体を撮影した画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップと

を有する画像生成方法であって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点間の相関度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度に基づいて、前記各投影点に物体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記相関度を算出するステップは、前記複数の視点の中から選んだいくつかの視点の組み合わせであるカメラセットを複数組用意するステップと、前記各カメラセットに含まれる画像上の対応点から相関度を求めるステップとを有し、

前記存在確率を決定するステップは、前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出するステップと、前記カメラセット毎に決定した存在確率の統合処理をして前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする画像生成方法。

- [13] 前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出するステップは、前記カメラセット毎に算出した前記各投影点の相関度から評価基準値を算出するステップと、前記カメラセット毎に算出した前記各投影点の評価基準値の統計処理を行って存在確率の分布関数を算出するステップと、前記存在確率の分布関数に基づいて前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする請求項12に記載の画像表示方法。
- [14] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率の高さに応じた割合で混合して、生成する画像上の点の色情報または輝度情報を決定し、1枚の2次元画像を生成することを特徴とする請求項12または請求項13に記載の画像生成方法。
- [15] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記観察者

の視点から見て奥行きが異なる位置に、複数枚の画像生成面を設定するステップと、前記観察者の視点から見て重なり合う前記各投影点及び前記各画像生成面上の点の位置関係に基づいて、各投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を前記各画像生成面上の色情報または輝度情報、及び輝度分配係数に変換するステップとを有することを特徴とする請求項12または請求項13に記載の画像生成方法。

- [16] 複数の異なる視点から被写体を撮影した画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得する3次元形状取得手段と、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する被写体画像生成手段とを備える画像生成装置であって、

前記3次元形状取得手段は、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記投影点と対応する対応点間の相関度を算出する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度に基づいて、前記各投影点に物体の表面が存在する確率である存在確率を決定する手段とを備え、

前記相関度を算出する手段は、前記複数の視点の中から選んだいくつかの視点の組み合わせであるカメラセットを複数組用意する手段と、前記各カメラセットに含まれる画像上の対応点から相関度を求める手段とを備え、

前記存在確率を決定する手段は、前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出する手段と、前記カメラセット毎に決定した存在確率の統合処理をして前記各投影点の存在確率を決定する手段とを備えることを特徴とする画像生成装置。

- [17] 前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出する手段は、前記カメラセット毎に算出した前記各投影点の相関度から評価基準値を算出する手段と、前記カメラセット毎に算出した前記各投影点の評価基準値の統計処理を行って存在確率の分布関数を算出する手段と、前記存在確率の分布関数に基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段とを有することを特徴とする請求

項16に記載の画像生成装置。

- [18] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する手段は、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率の高さに応じた割合で混合して、生成する画像上の点の色情報または輝度情報を決定し、1枚の2次元画像を生成する手段であることを特徴とする請求項16または請求項17に記載の画像生成装置。
- [19] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する手段は、前記観察者の視点から見て奥行きが異なる位置に、複数枚の画像生成面を設定する手段と、前記観察者の視点から見て重なり合う前記各投影点及び前記各画像生成面上の点の位置関係に基づいて、各投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を前記各画像生成面上の色情報または輝度情報、及び輝度分配係数に変換する手段とを備えることを特徴とする請求項16または請求項17に記載の画像生成装置。
- [20] コンピュータに、
複数の異なる視点から被写体を撮影した画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを実行させる画像生成プログラムであって、
前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点間の相関度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度に基づいて、前記各投影点に物体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、
前記相関度を算出するステップは、前記複数の視点の中から選んだいくつかの視点の組み合わせであるカメラセットを複数組用意するステップと、前記各カメラセットに含まれる画像上の対応点から相関度を求めるステップとを有し、

前記存在確率を決定するステップは、前記カメラセット毎に求めた前記各投影点の相関度に基づいた存在確率を算出するステップと、前記カメラセット毎に決定した存在確率の統合処理をして前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする画像生成プログラム。

[21] 前記請求項20に記載の画像生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[22] 合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点である仮想視点を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した各画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定することを特徴とする画像生成方法。

[23] 前記被写体の3次元形状を取得するステップ、または前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記基準視点または前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の存在確率に基づいて、前記各投影点上に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、

前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に基づいて設定した前記透明度に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定することを特徴とする請求項22に記載の画像生成方法。

- [24] 前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に色情報または輝度情報を混合し、

ある投影点までの色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項23に記載の画像生成方法。

- [25] 合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点である仮想視点を設定する仮想視点設定手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得する3次元形状取得手段と、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するレンダリング手段とを備える画像生成装置であって、

前記3次元形状取得手段は、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した各画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定する手段とを備え、

前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する手段を備えることを特徴とする画像生成装置。

- [26] 前記3次元形状取得手段、または前記レンダリング手段は、前記基準視点または前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の存在確率に基づいて、前記各投影点上に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する手段を備え、
- 前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に基づいて設定した前記透明度に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する手段を備えることを特徴とする請求項25に記載の画像生成装置。
- [27] 前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に色情報または輝度情報を混合し、ある投影点までの色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得る手段を備えることを特徴とする請求項26に記載の画像生成装置。
- [28] コンピュータに、
- 合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点である仮想視点を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを実行させる画像生成プログラムであって、
- 前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した各画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、
- 前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点か

ら見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定するステップを有することを特徴とする画像生成プログラム。

[29] 請求項28に記載の画像生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[30] 異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記存在確率を決定するステップは、前記対応点の画像情報から前記各投影点の評価基準値を算出するステップと、前記各投影点の評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする画像生成方法。

[31] 前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求めるステップと、前記各投影点の相関度に基づいた評価基準値を算出するステップと、前記評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする請求項30に記載の画像生成方法。

[32] 前記複数枚の画像を取得するステップは、1つの視点から合焦距離を変えて前記

被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出するステップと、前記各投影点の合焦点度に基づいた評価基準値を算出するステップと、前記評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする請求項30に記載の画像生成方法。

- [33] 前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と前記視点の異なる複数枚の画像上の対応点間の相関度を求めるステップと、前記各投影点の相関度に基づいた第1評価基準値を算出するステップと、前記第1評価基準値の統計処理を行うステップと、

ある視点から撮影した前記合焦距離の異なる画像上の対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出するステップと、前記各投影点の合焦点度に基づいた第2評価基準値を算出するステップと、前記第2評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った第1評価基準値及び第2評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする請求項30に記載の画像生成方法

- [34] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率の高さに応じた割合で混合して、生成する画像上の点の色情報または輝度情報を決定し、1枚の2次元画像を生成することを特徴とする請求項30乃至請求項33のいずれか1項に記載の画像生成方法。

- [35] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記観察者の視点から見て奥行きが異なる位置に、複数枚の画像生成面を設定するステップと、前記観察者の視点から見て重なり合う前記各投影点及び前記各画像生成面上の点の位置関係に基づいて、各投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を前

記各画像生成面上の色情報または輝度情報、及び輝度分配係数に変換するステップとを有することを特徴とする請求項30乃至請求項33のいずれか1項に記載の画像生成方法。

- [36] 異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得する被写体形状取得手段と、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する被写体画像生成手段とを備える画像生成装置であって、

前記被写体形状取得手段は、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定する手段とを備え、

前記存在確率を決定する手段は、前記対応点の画像情報から前記各投影点の評価基準値を算出する手段と、前記各投影点の評価基準値の統計処理を行う手段と、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出する手段とを備えることを特徴とする画像生成装置。

- [37] 前記被写体画像取得手段は、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求める手段と、前記各投影点の相関度に基づいた評価基準値を算出する手段と、前記評価基準値の統計処理を行う手段と、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出する手段とを備えることを特徴とする請求項36に記載の画像生成装置。

- [38] 前記被写体画像取得手段は、1つの視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出する手段と、前記各投影点の合焦点度に基づいた評

価基準値を算出する手段と、前記評価基準値の統計処理を行う手段と、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出する手段とを備えることを特徴とする請求項36に記載の画像生成装置。

- [39] 前記被写体画像取得手段は、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と前記視点の異なる複数枚の画像上の対応点間の相関度を求める手段と、前記各投影点の相関度に基づいた第1評価基準値を算出する手段と、前記第1評価基準値の統計処理を行う手段と、

ある視点から撮影した前記合焦距離の異なる画像上の対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出する手段と、前記各投影点の合焦点度に基づいた第2評価基準値を算出する手段と、前記第2評価基準値の統計処理を行う手段と、前記統計処理を行った第1評価基準値及び第2評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出する手段とを備えることを特徴とする請求項36に記載の画像生成装置。

- [40] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する手段は、前記観察者の視点から見て重なり合う各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率の高さに応じた割合で混合して、生成する画像上の点の色情報または輝度情報を決定し、1枚の2次元画像を生成する手段であることを特徴とする請求項36乃至請求項39のいずれか1項に記載の画像生成装置。

- [41] 前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成する手段は、前記観察者の視点から見て奥行きが異なる位置に複数枚の画像生成面を設定する手段と、前記観察者の視点から見て重なり合う前記各投影点及び前記各画像生成面上の点の位置関係に基づいて、各投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を前記各画像生成面上の色情報または輝度情報、及び輝度分配係数に変換する手段とを備えることを特徴とする請求項36乃至請求項39のいずれか1項に記載の画像生成装置。

- [42] コンピュータに、

異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚

の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記観察者の視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを実行させる画像生成プログラムであって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記存在確率を決定するステップは、前記対応点の画像情報から前記各投影点の評価基準値を算出するステップと、前記各投影点の評価基準値の統計処理を行うステップと、前記統計処理を行った評価基準値に基づいて前記各投影点の存在確率を算出するステップとを有することを特徴とする画像生成プログラム。

[43] 前記請求項42に記載の画像生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[44] 異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを有する3次元画像表示方法であって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して

、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点である表示点の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成し、

前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示することを特徴とする3次元画像表示方法。

- [45] 前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求めるステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする請求項44に記載の3次元画像表示方法。

- [46] 前記複数枚の画像を取得するステップは、1つの視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする請求項44に記載の3次元画像表示方法。

- [47] 前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と前記視点の異なる画像上の対応点間の相関度を求めるステップと、前記各視点の合焦距離が異なる画像上の対応点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影

点について、前記各投影点の前記相関度の高さ及び前記合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定することを特徴とする請求項44に記載の3次元画像表示方法。

- [48] 異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得する3次元形状取得手段と、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定する観察者視点設定手段と、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記各画像表示面上に表示する2次元画像を生成する2次元画像生成手段とを備え、前記生成した2次元画像を前記各表示面上に表示させることで前記被写体の3次元像を提示させる3次元画像表示装置であって、

前記3次元形状取得手段は、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定する手段とを備え、

前記2次元画像生成手段は、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点である表示点の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成する手段を備え、

前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示させることを特徴とする3次元画像表示装置。

- [49] 前記被写体画像取得手段は、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求める手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項48に記載の3次元画像生成装置。

- [50] 前記被写体画像取得手段は、1つの視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項48に記載の3次元画像生成装置。

- [51] 前記被写体画像取得手段は、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と前記視点の異なる画像上の対応点間の相関度を求める手段と、前記各視点の合焦距離が異なる画像上の対応点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の前記相関度の高さ及び前記合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段を備えることを特徴とする請求項48に記載の3次元画像生成装置。

- [52] コンピュータに、

異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを実行させる3次元画像表示プログラムであって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点である投影点と対応する前記取得した画像上の対応点の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度

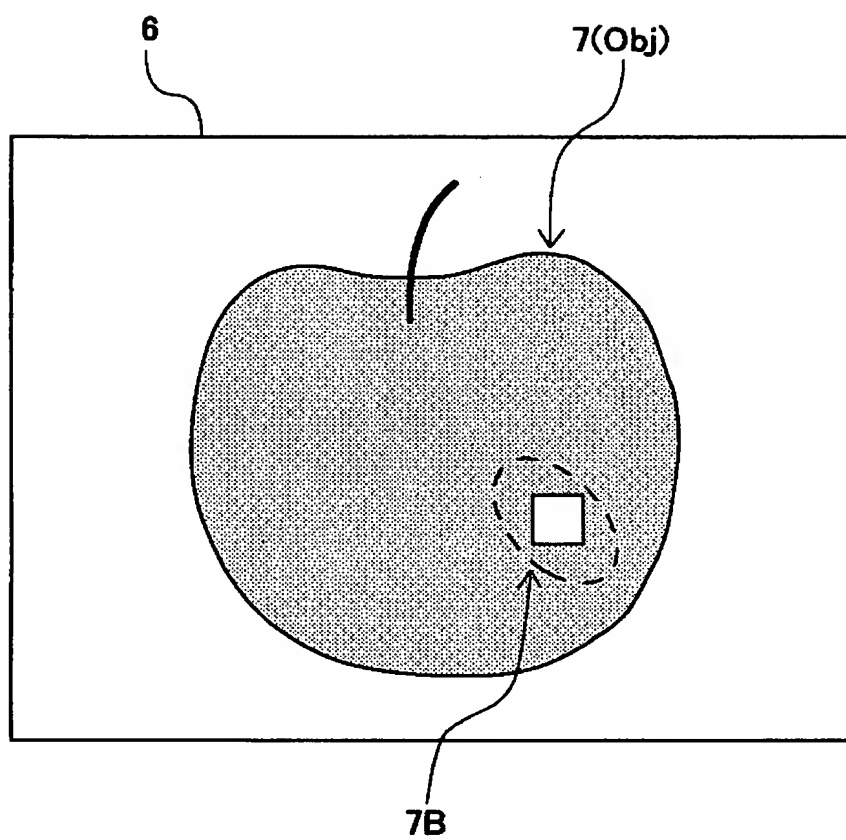
情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率である存在確率を決定するステップとを有し、

前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点である表示点の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成するステップを有し、

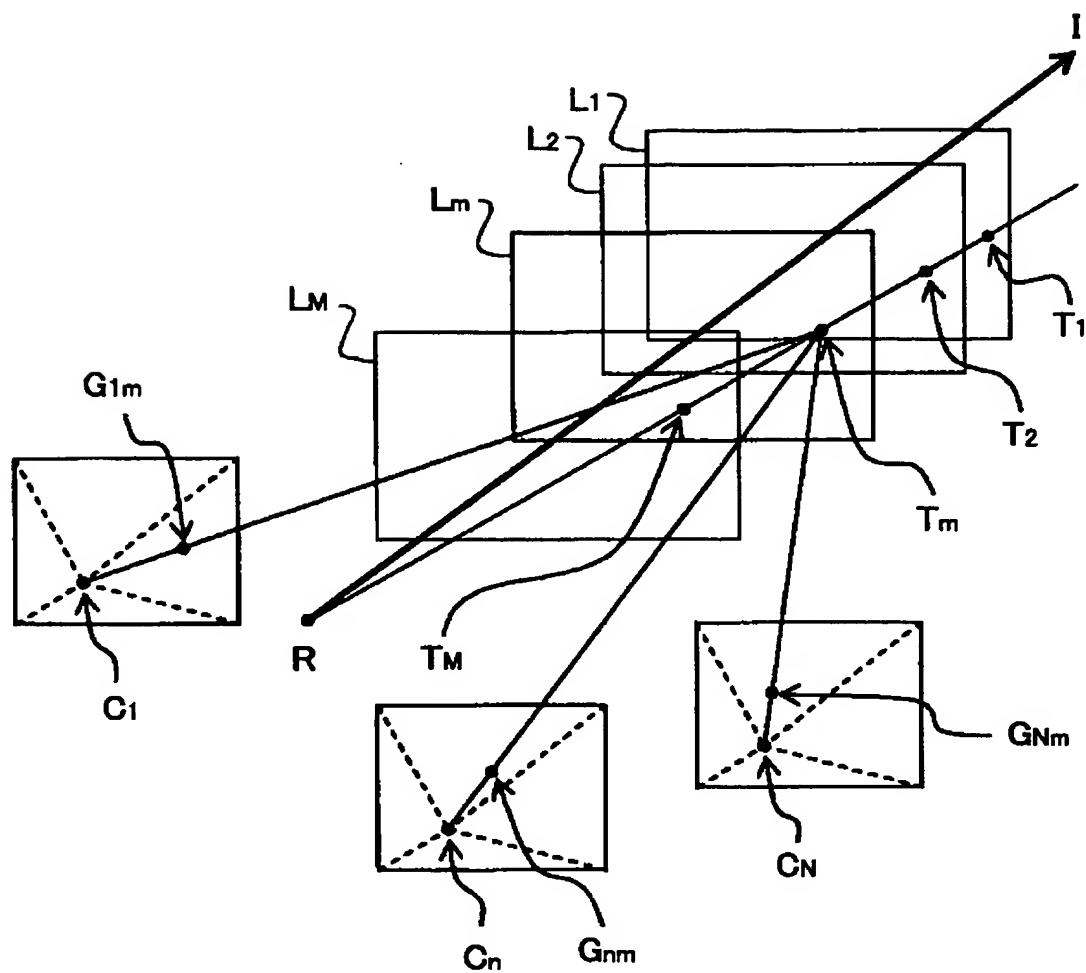
前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示するステップを有することを特徴とする3次元画像生成プログラム。

- [53] 前記請求項52に記載の3次元画像生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

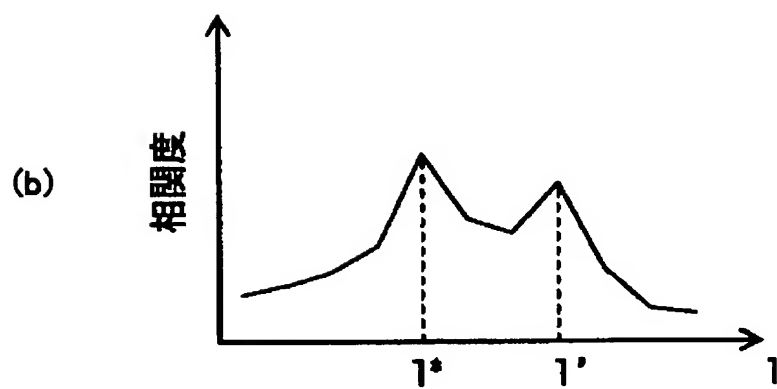
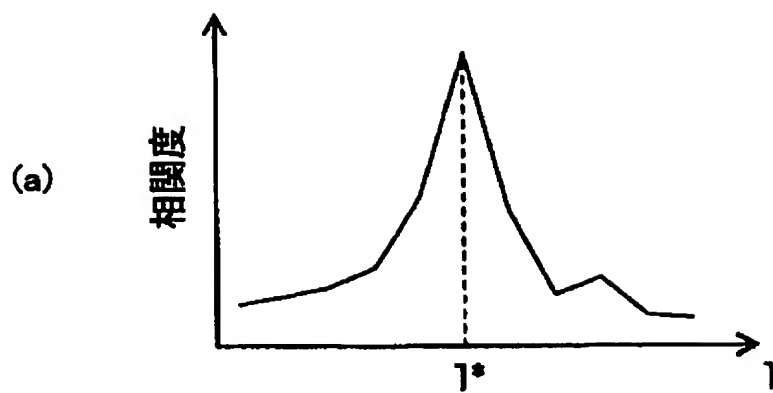
[図1]



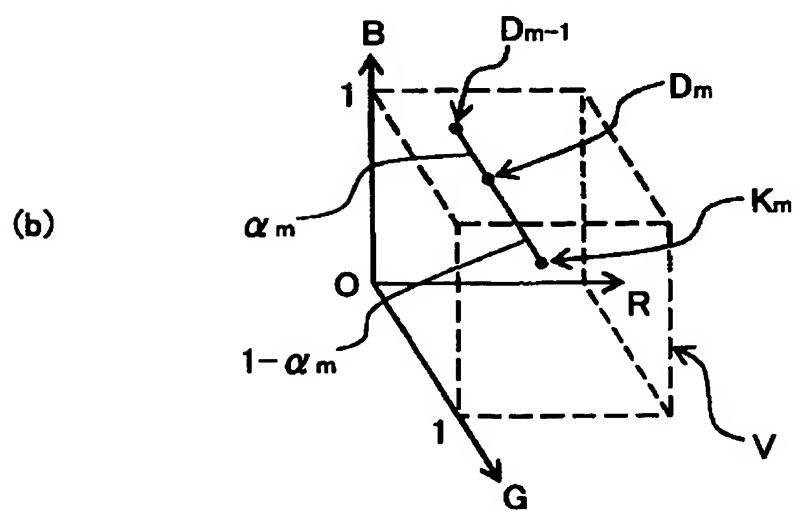
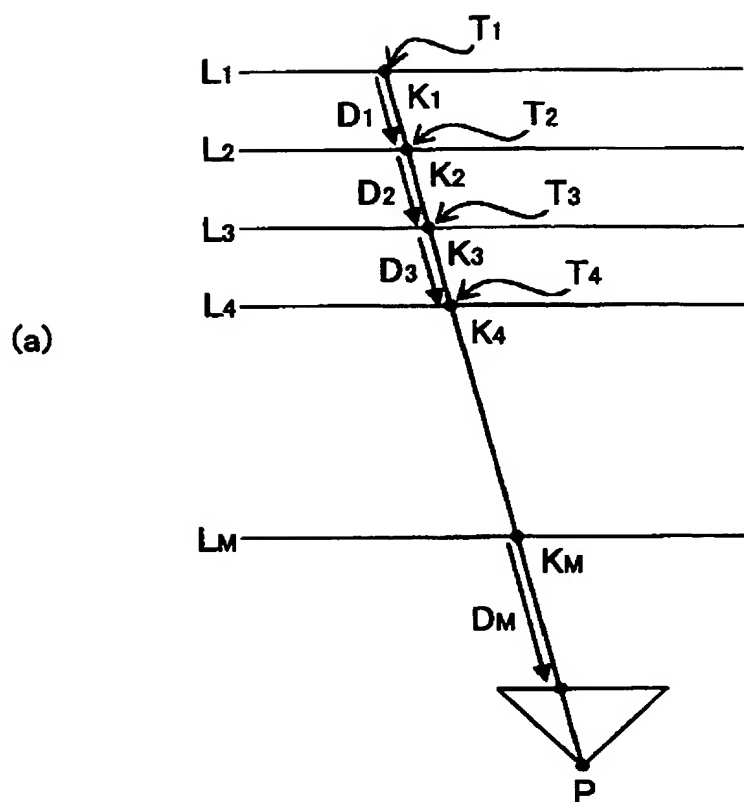
[図2]



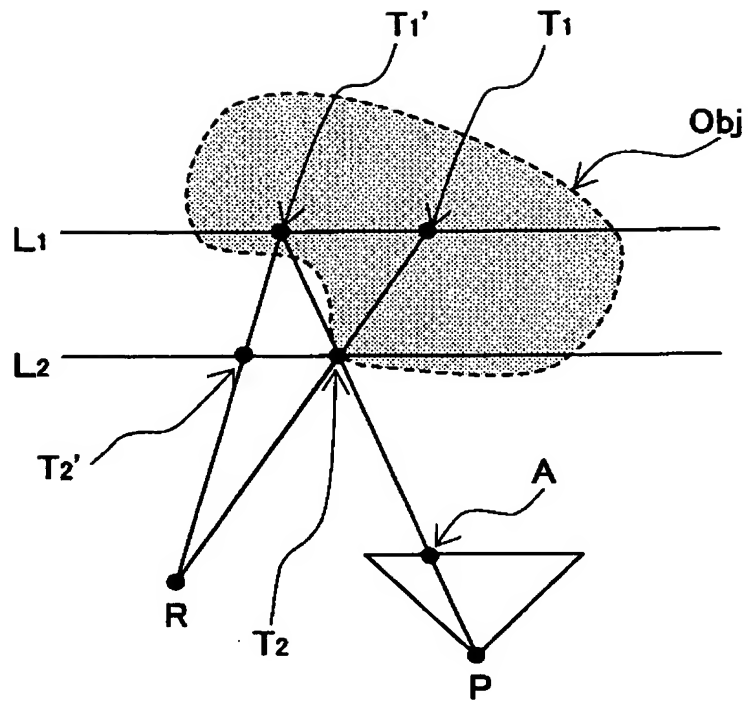
[図3]



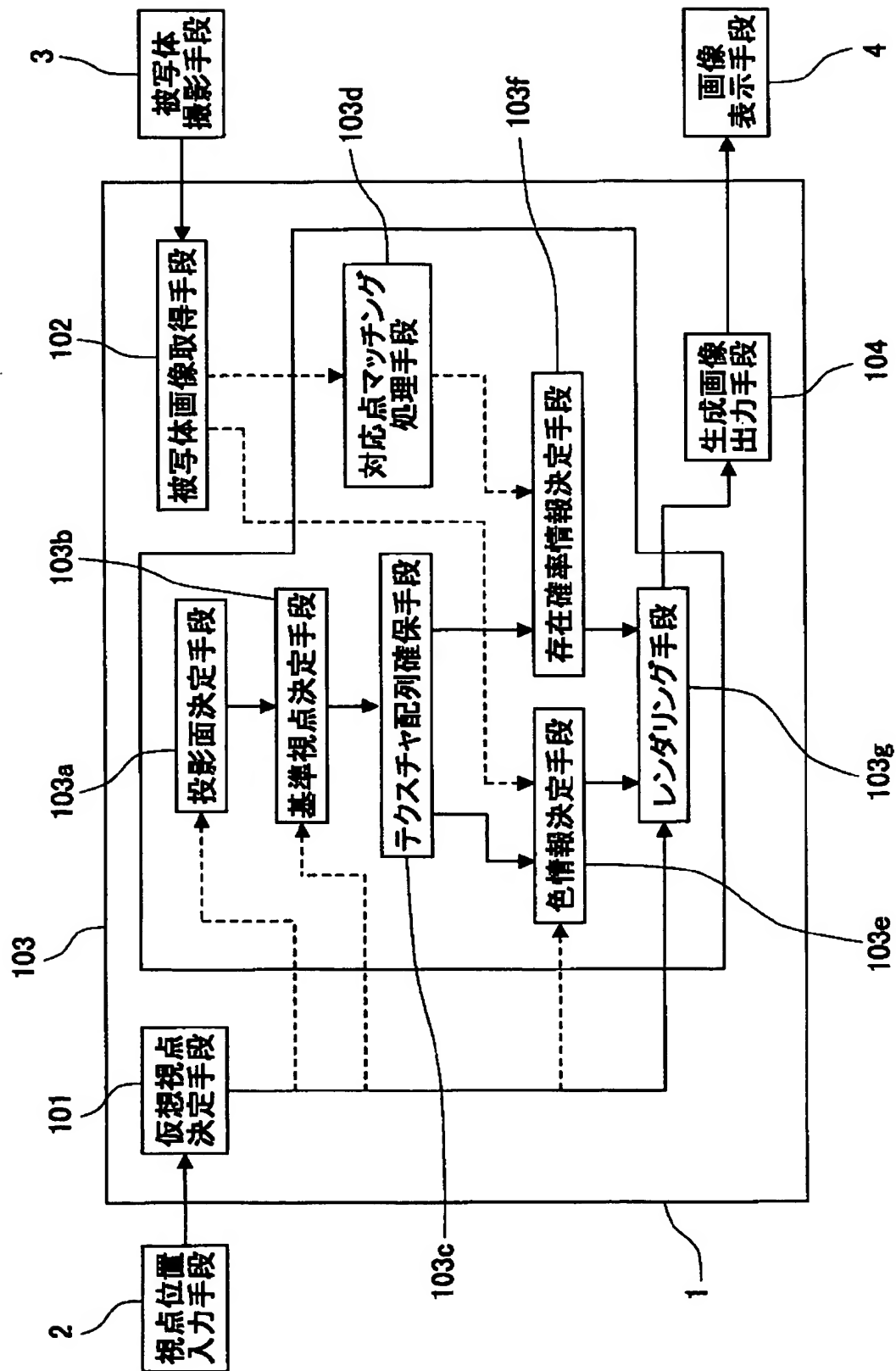
[図4]



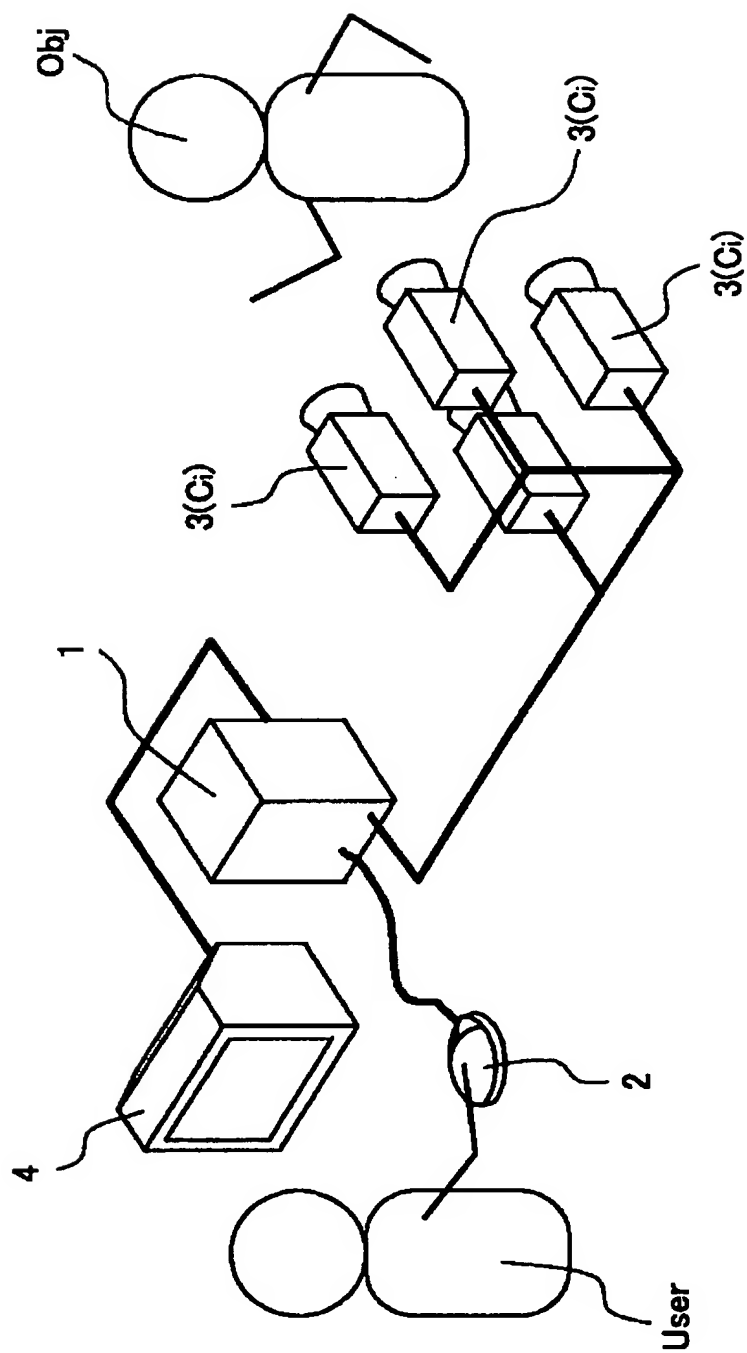
[図5]



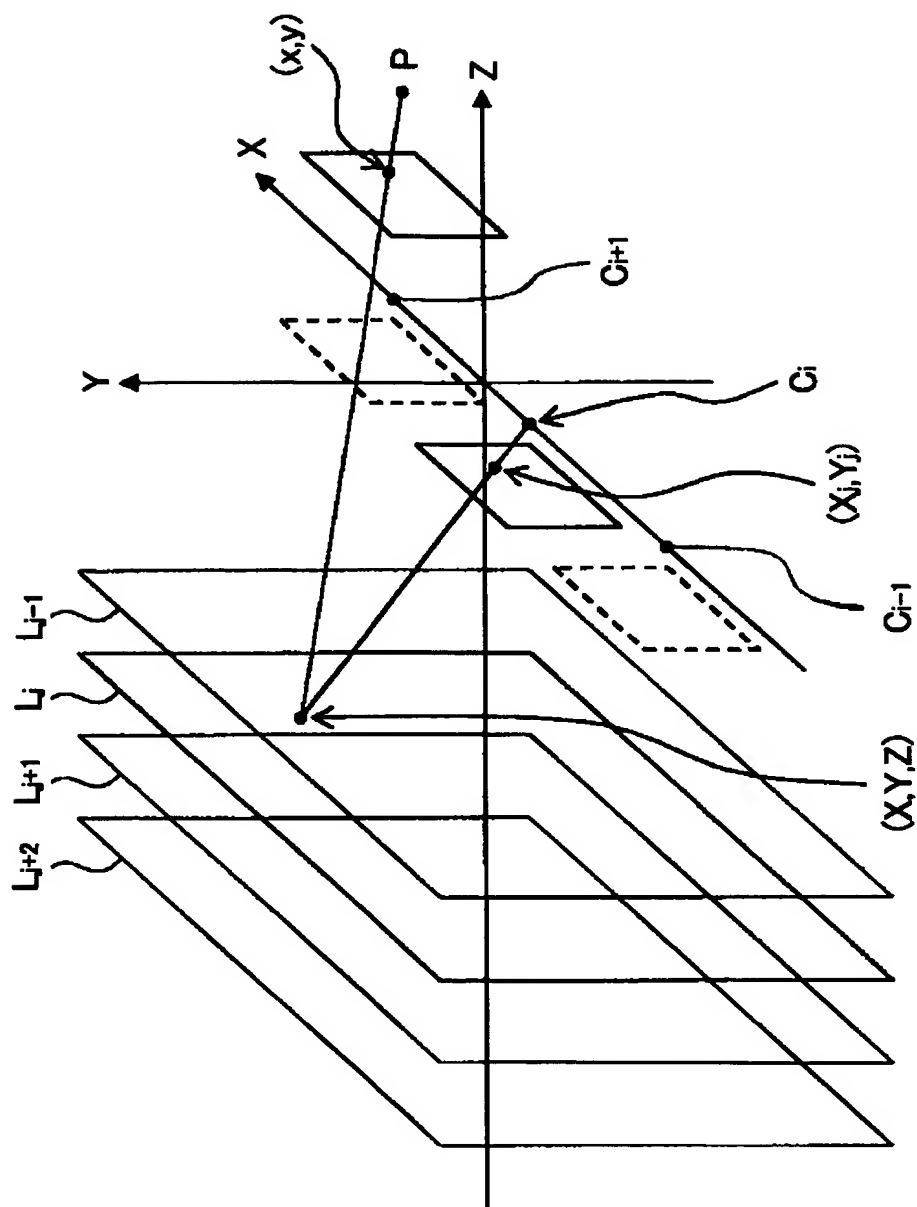
[図6]



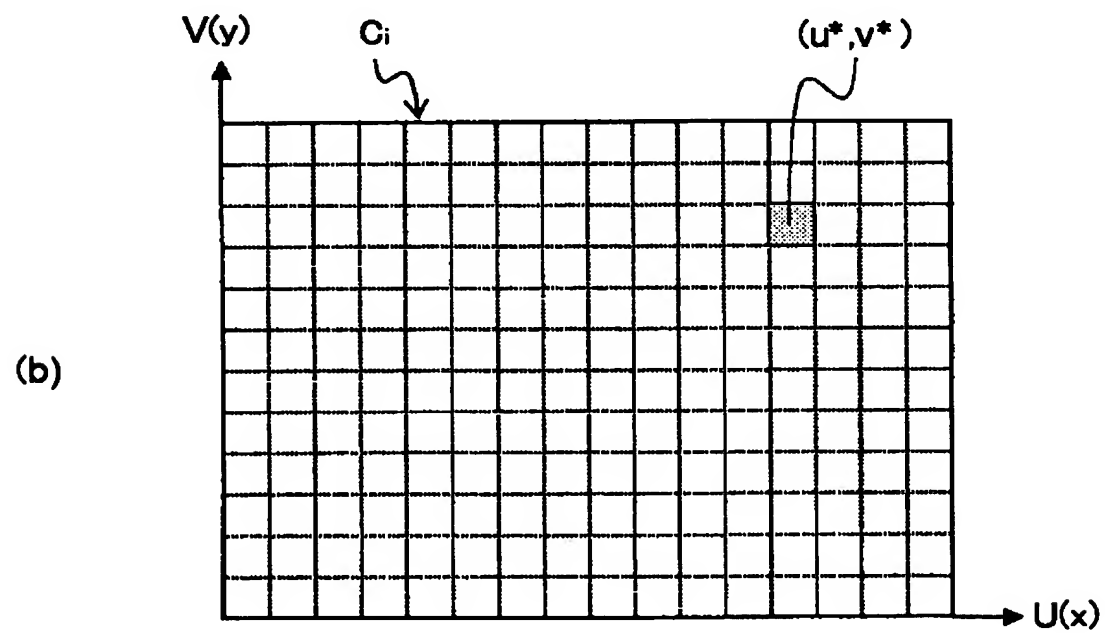
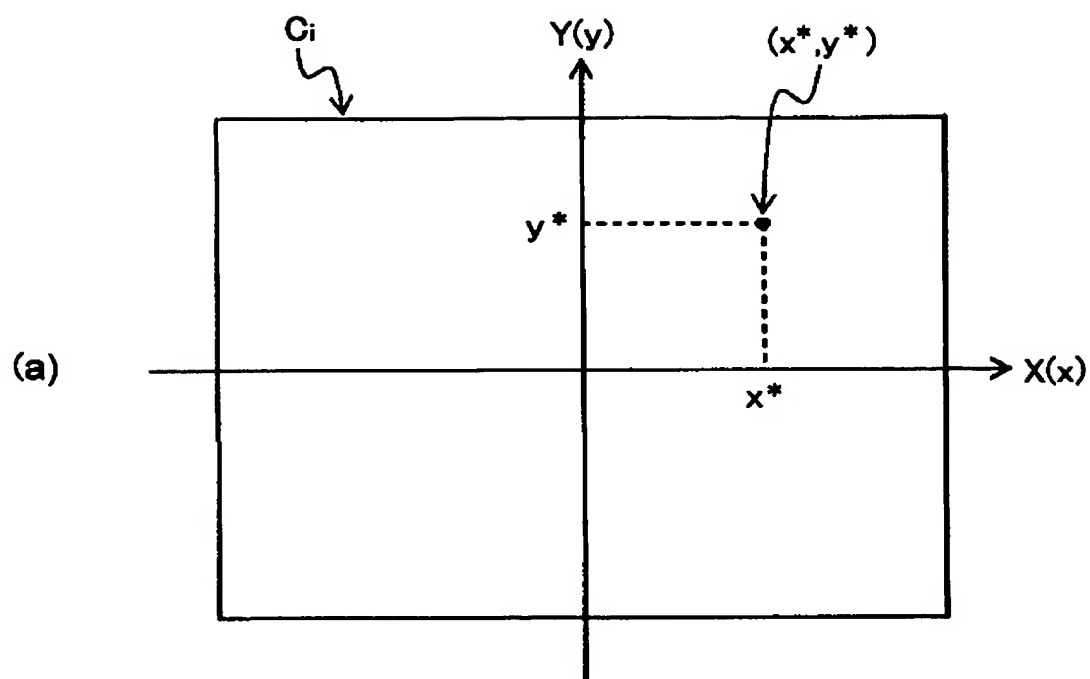
[図7]



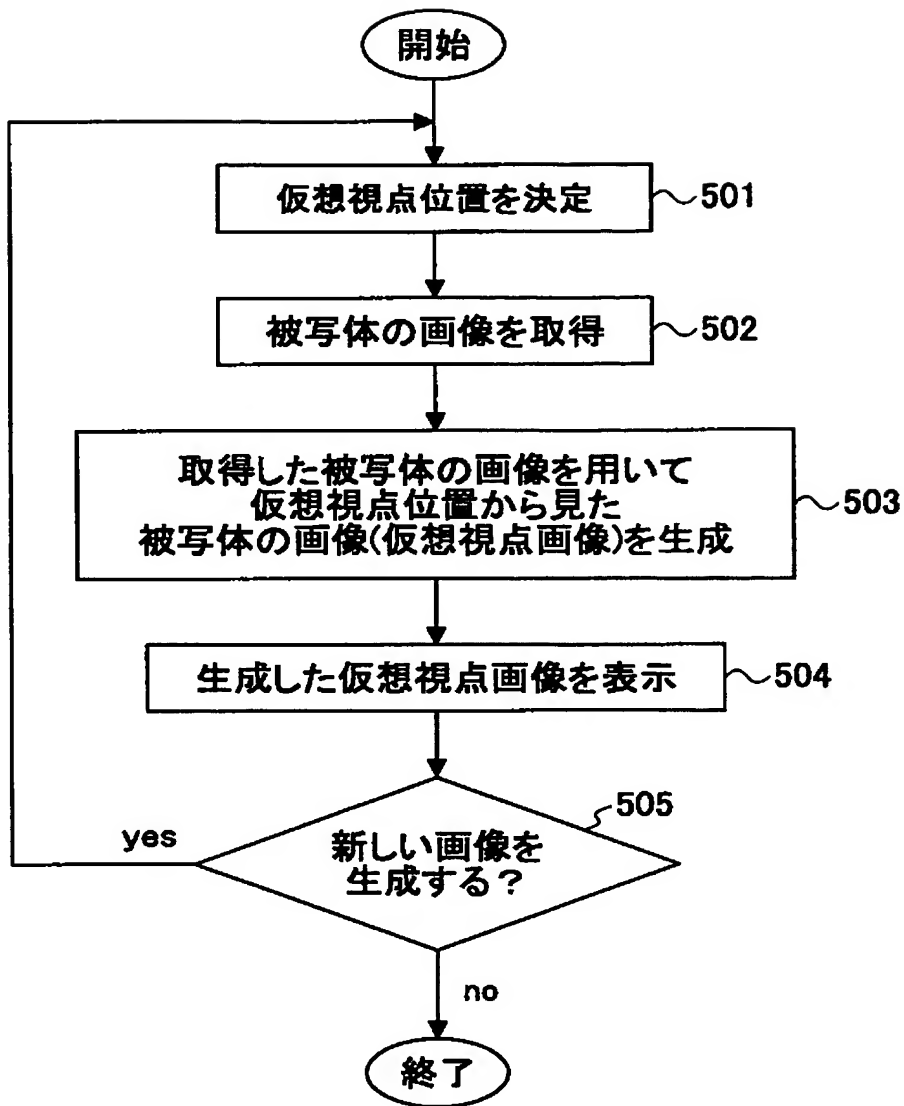
[図8]



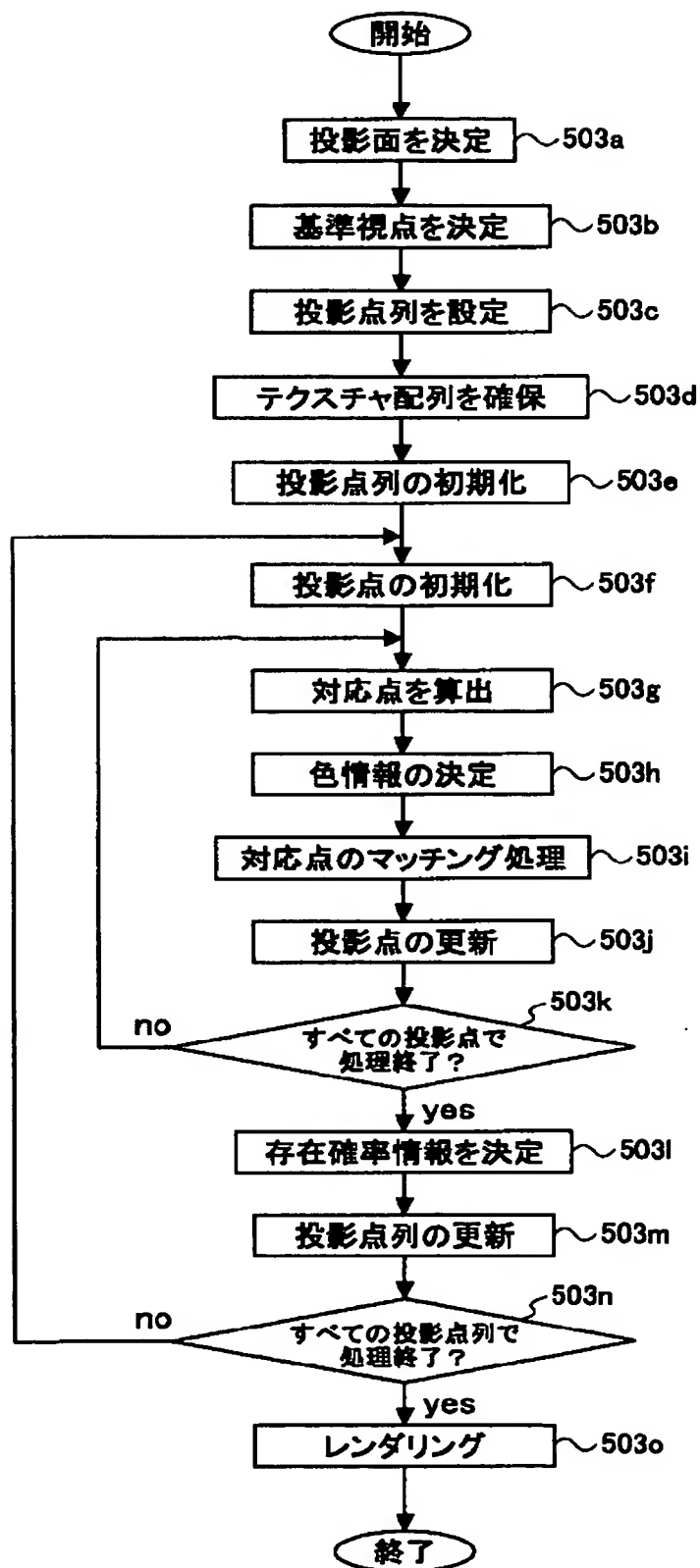
[図9]



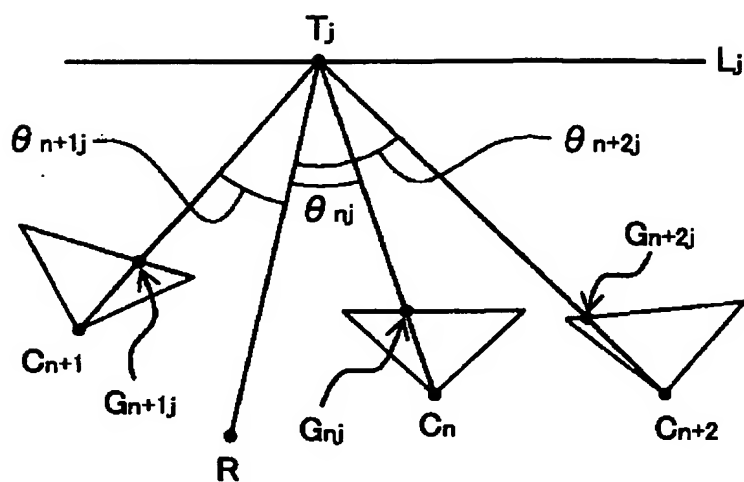
[図10]



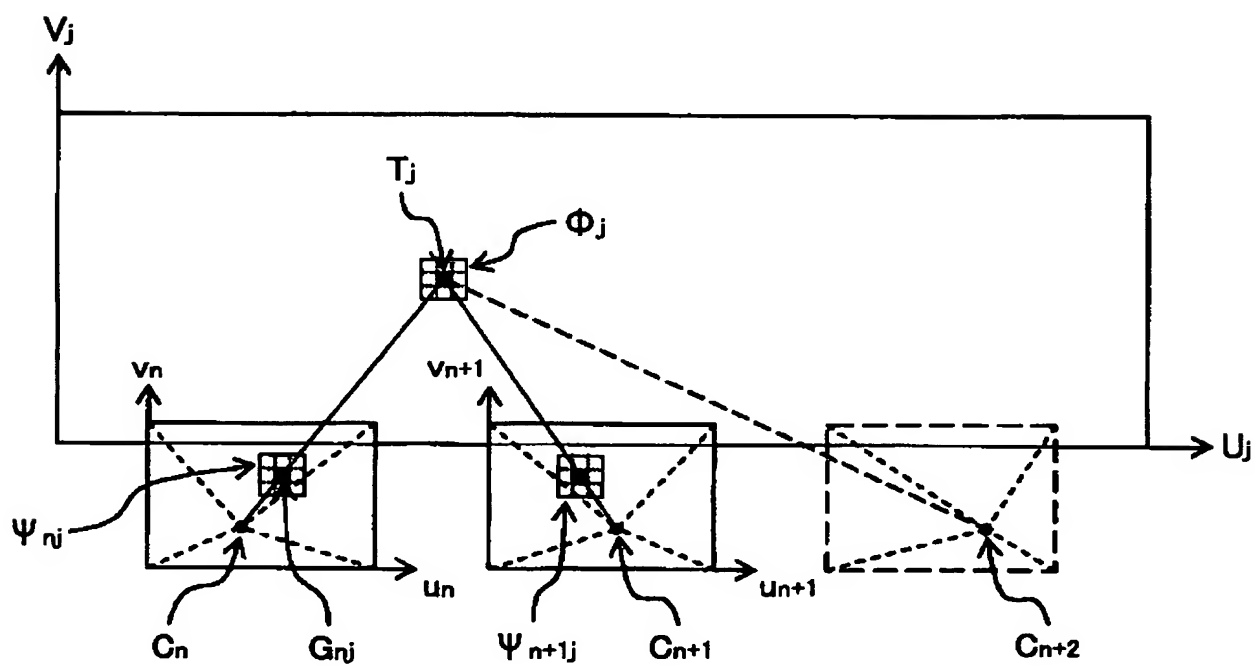
[図11]



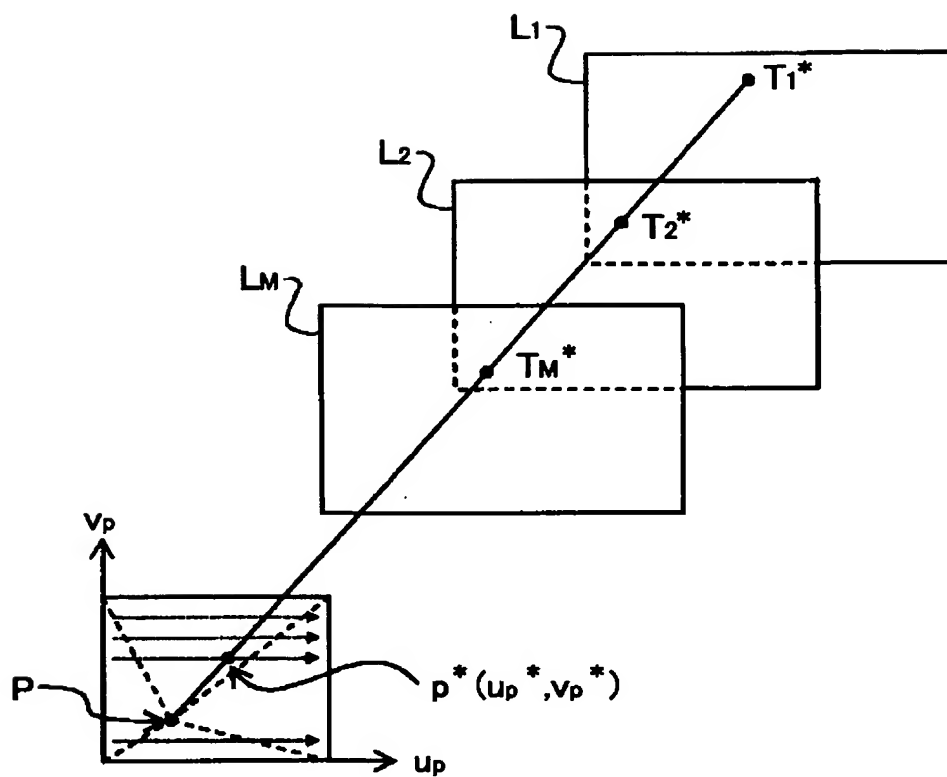
[図14]



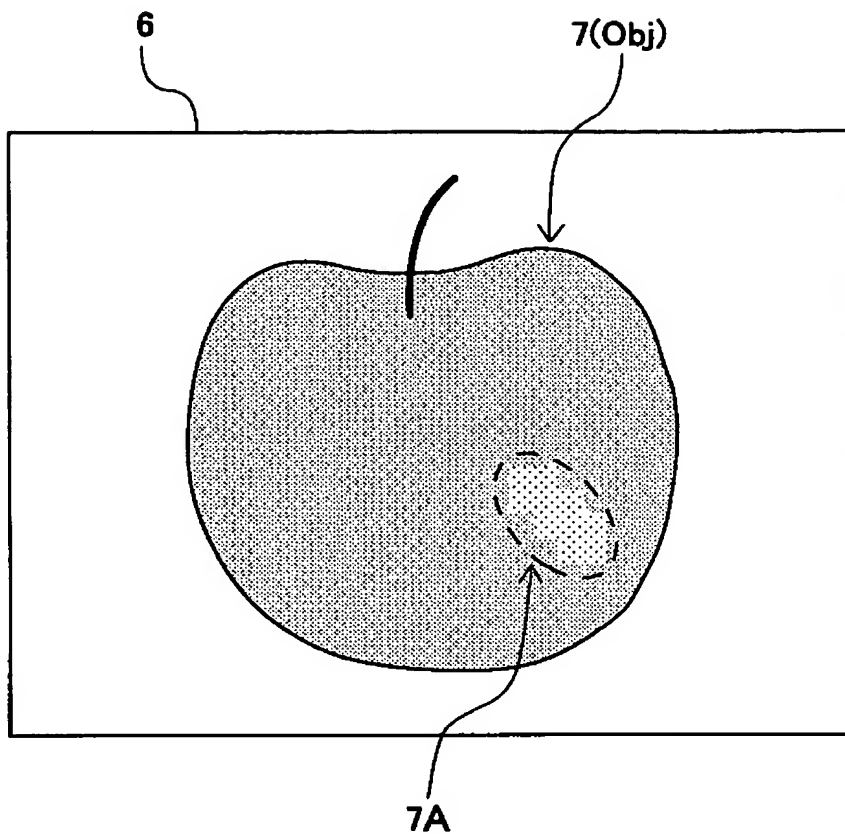
[図15]



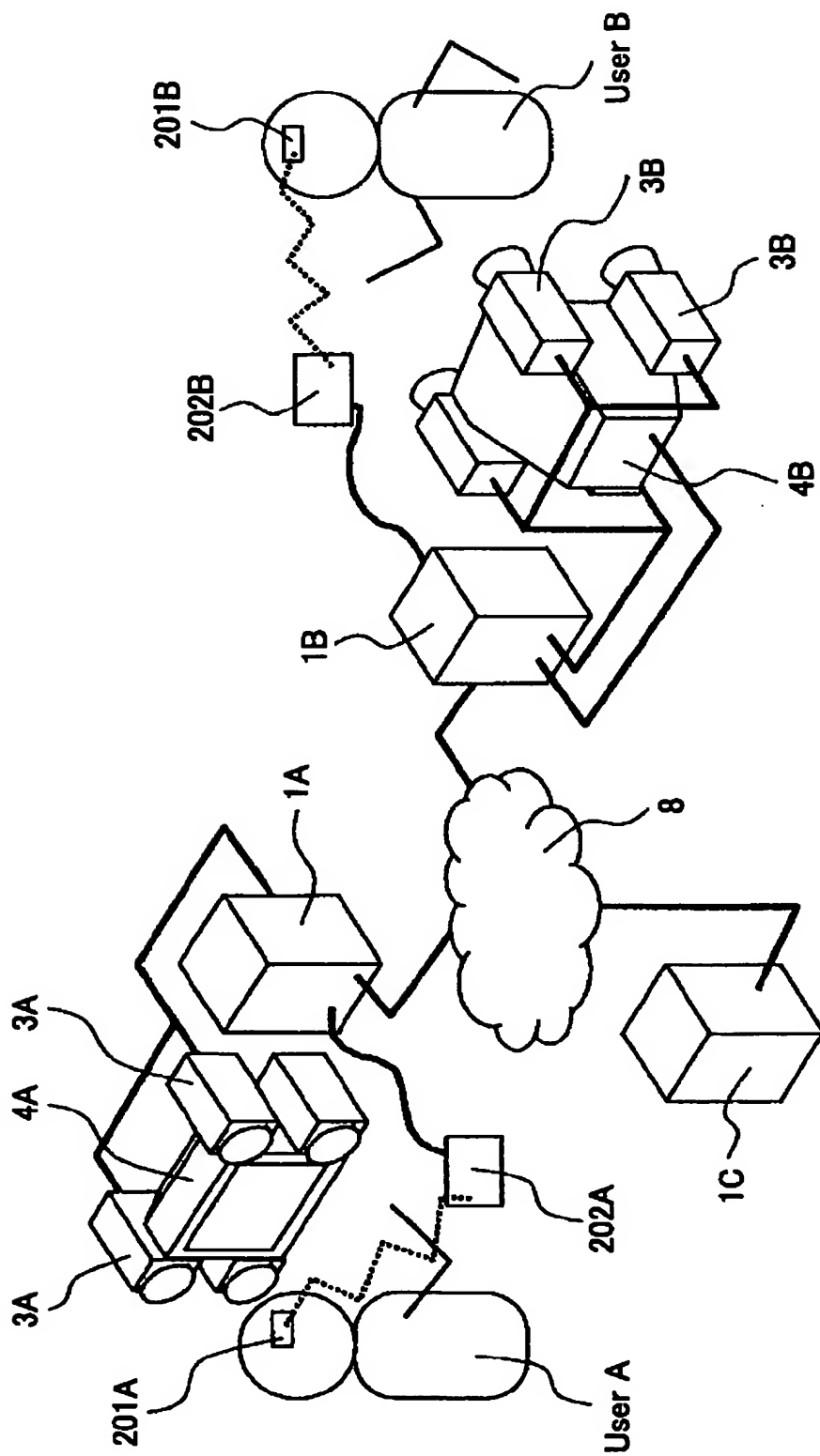
[図16]



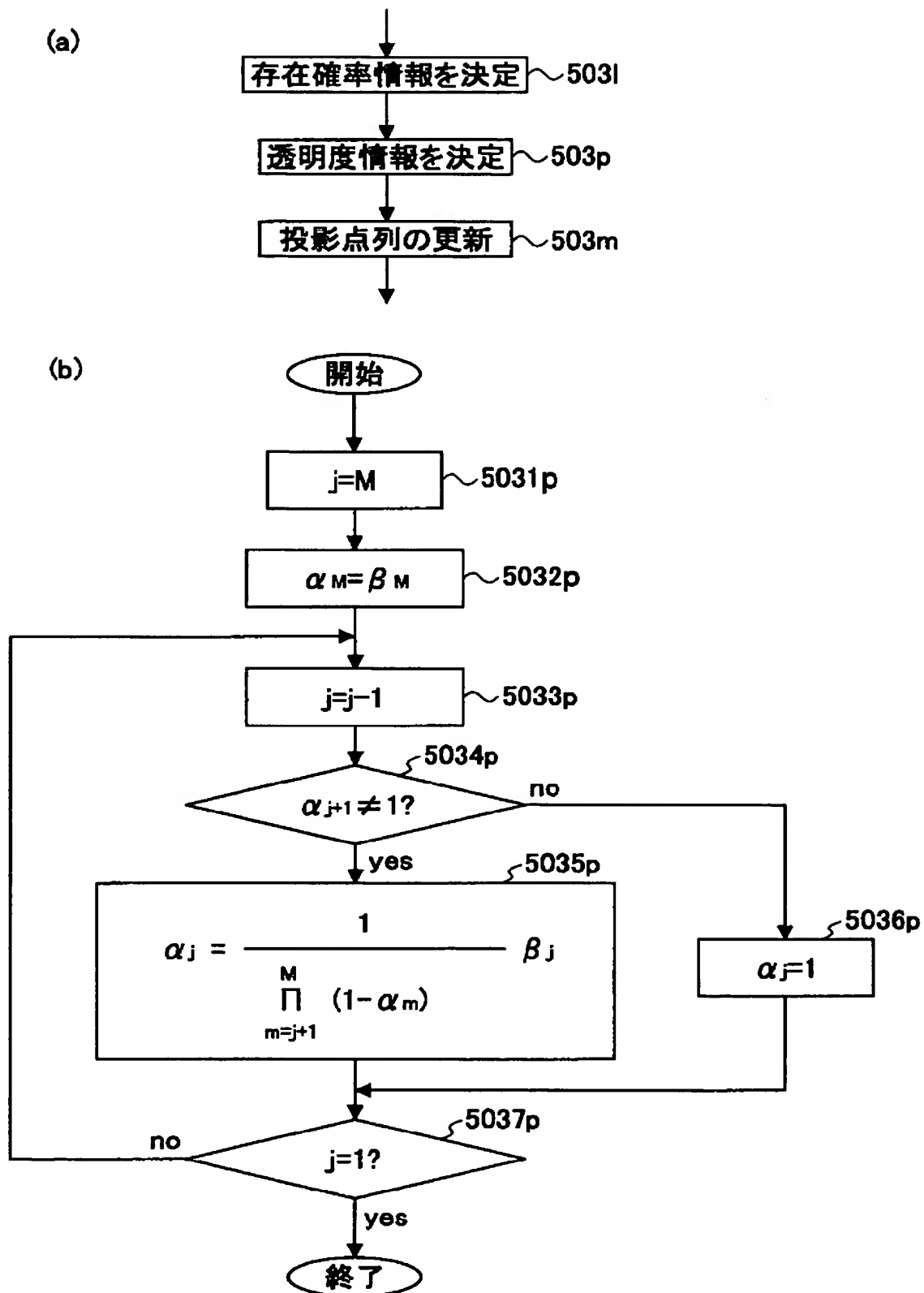
[図17]



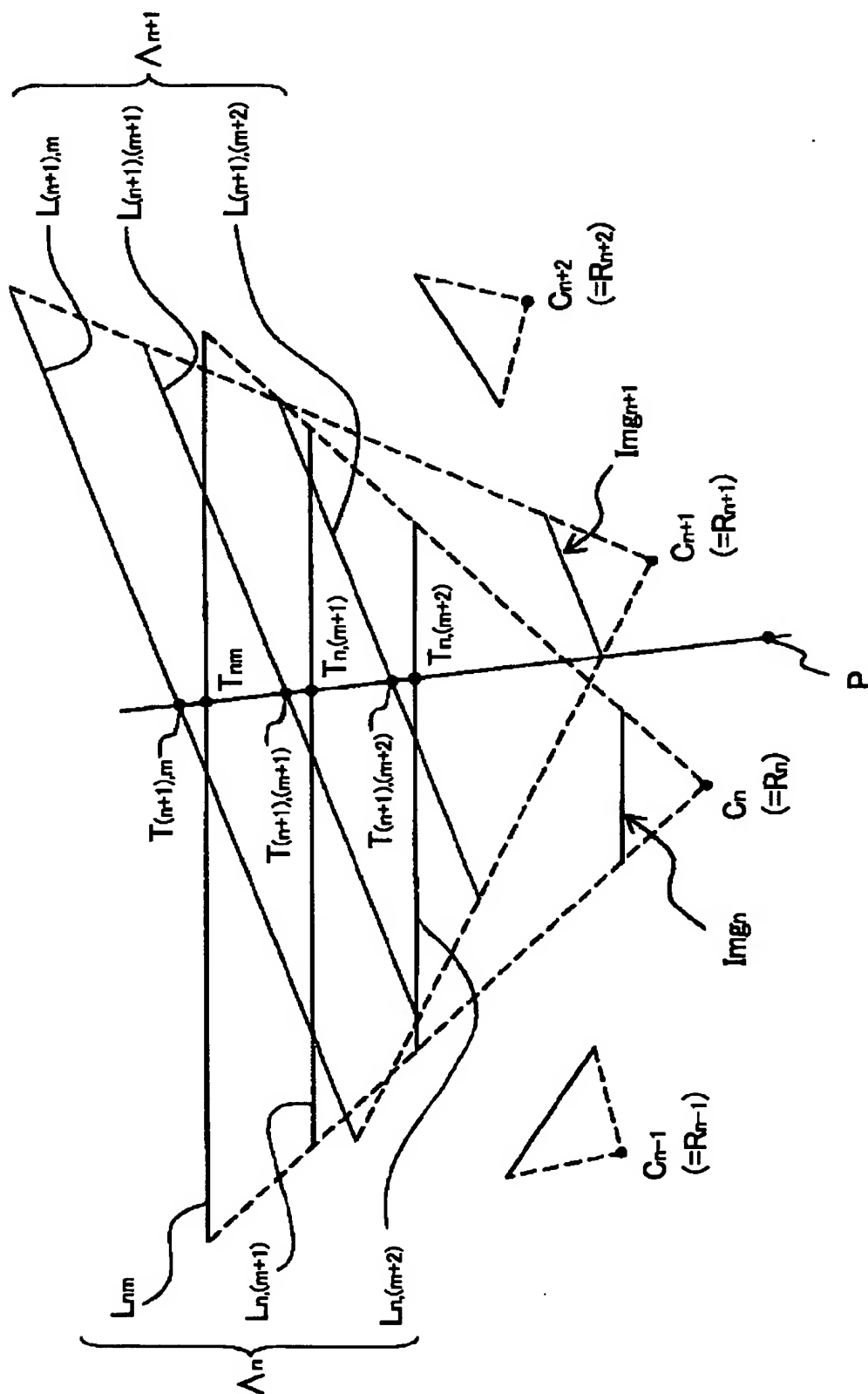
[图18]



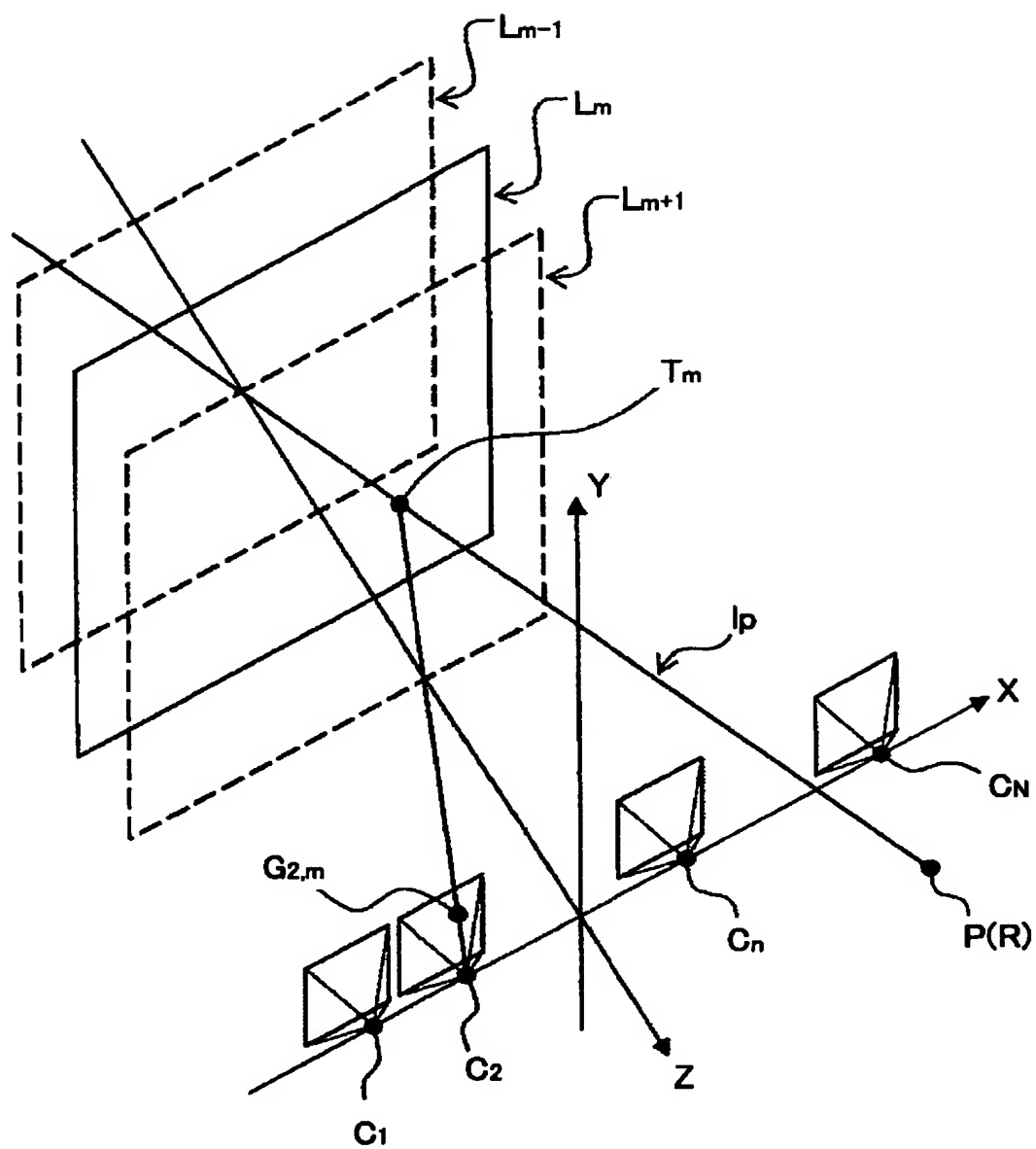
[図19]



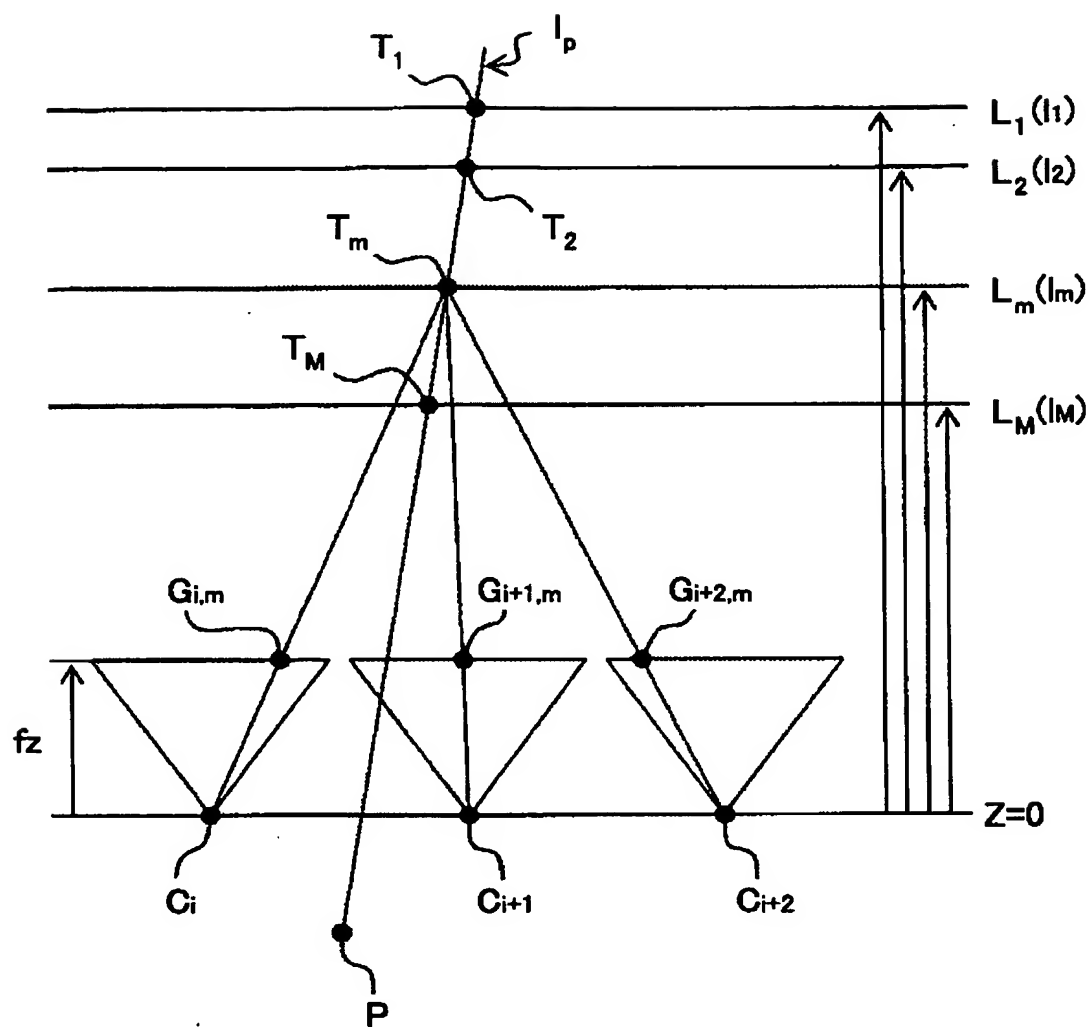
[図20]



[図21]

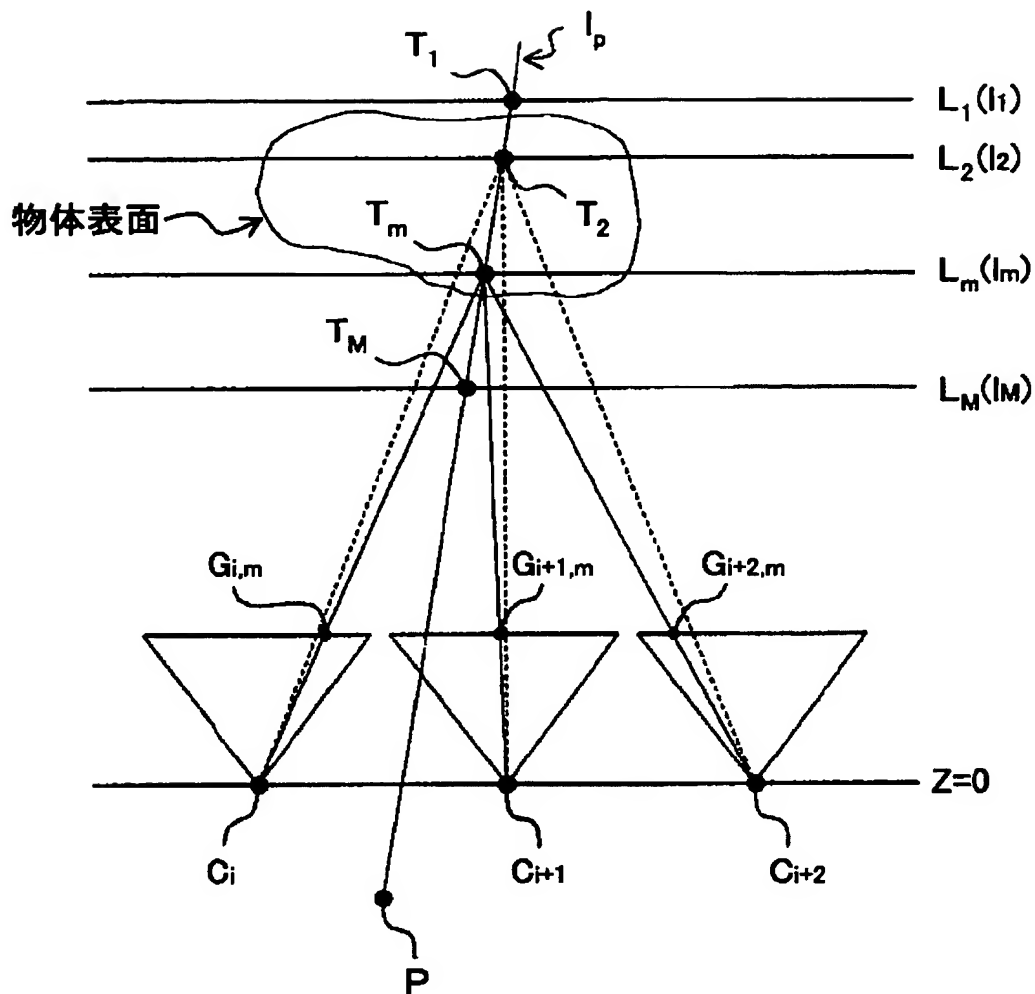


[図22]



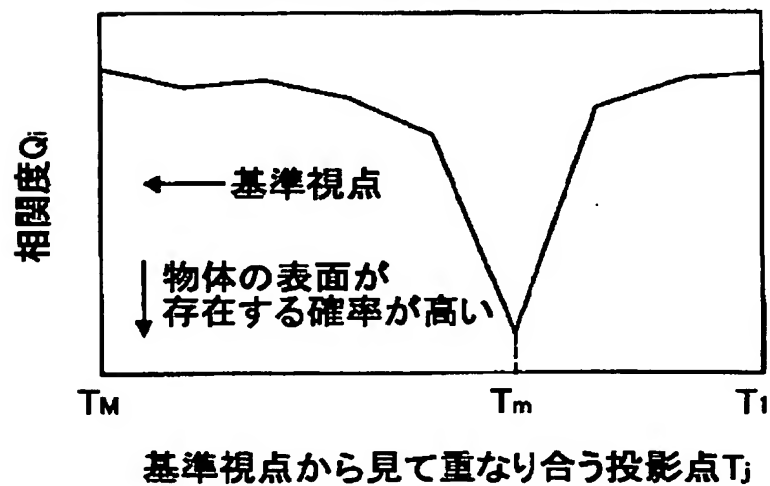
[図23]

(a)

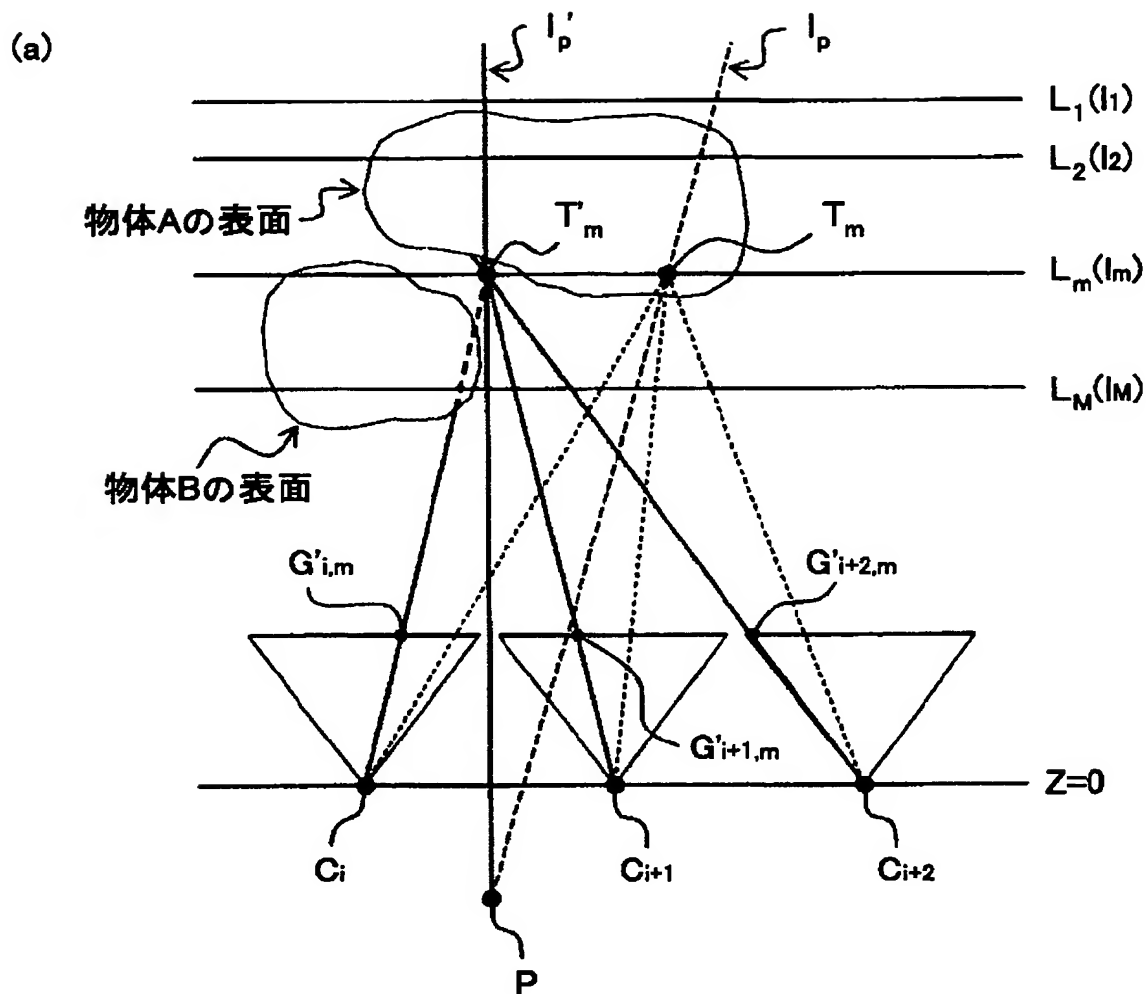


(b)

(推定した距離の信頼性が高い例)

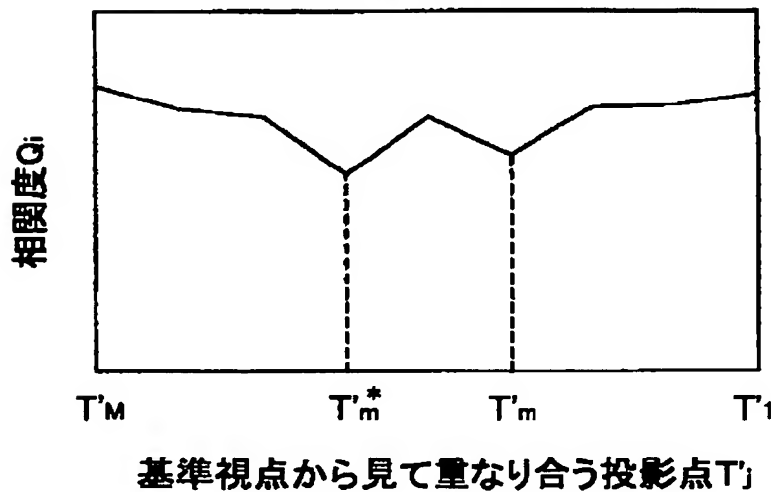


[図24]

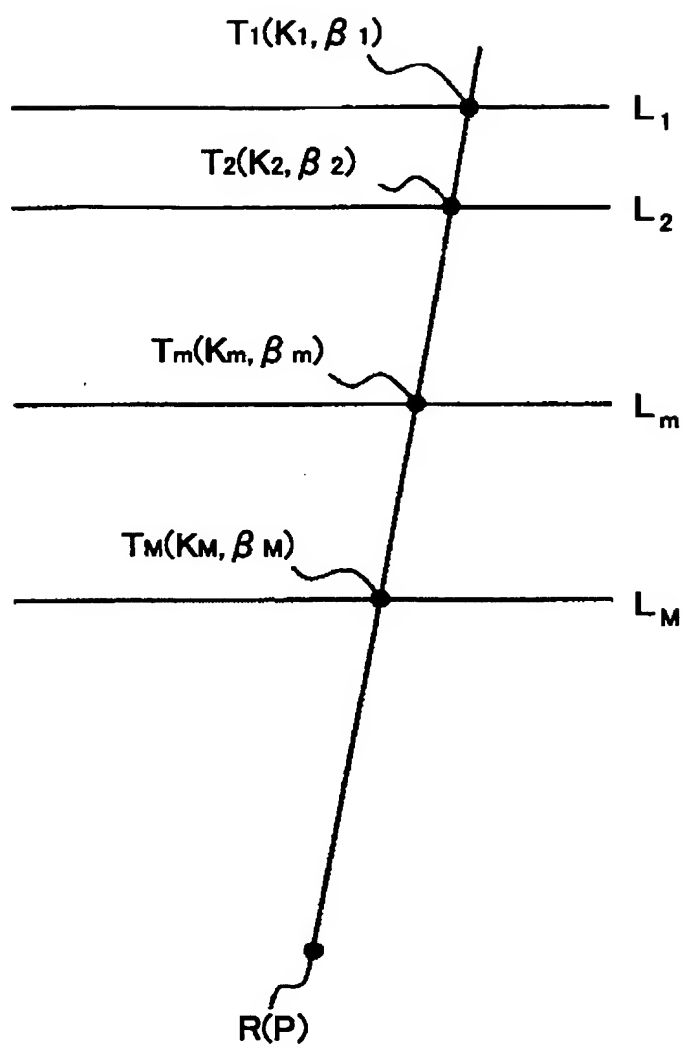


(b)

(推定した距離の信頼性が低い例)

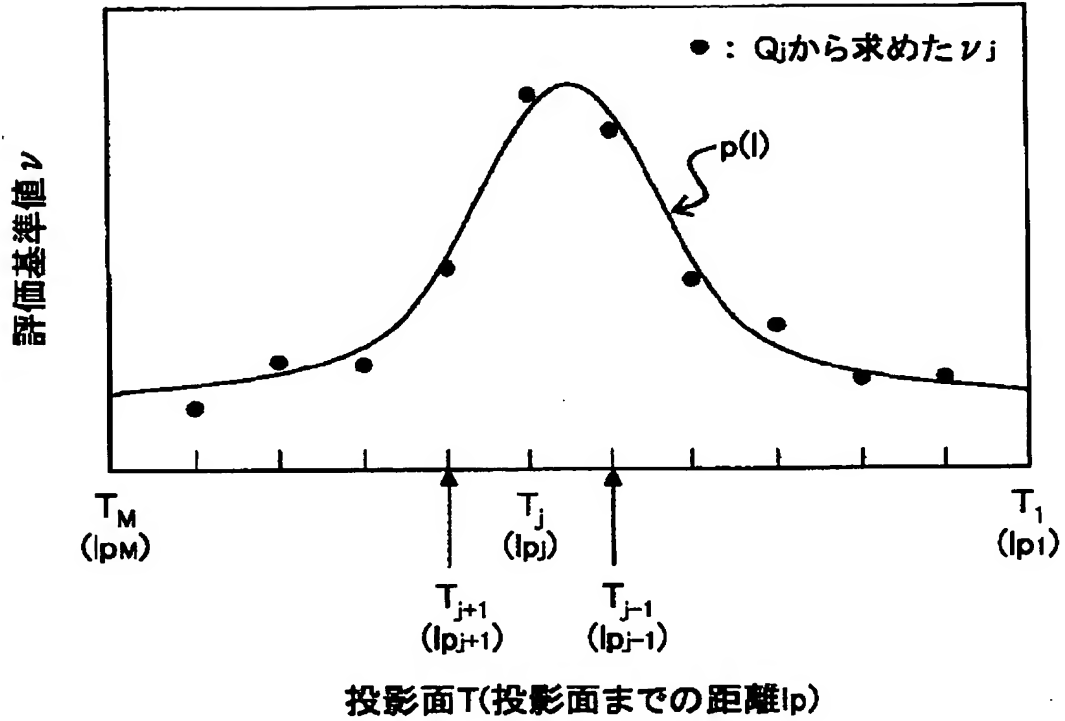


[図25]

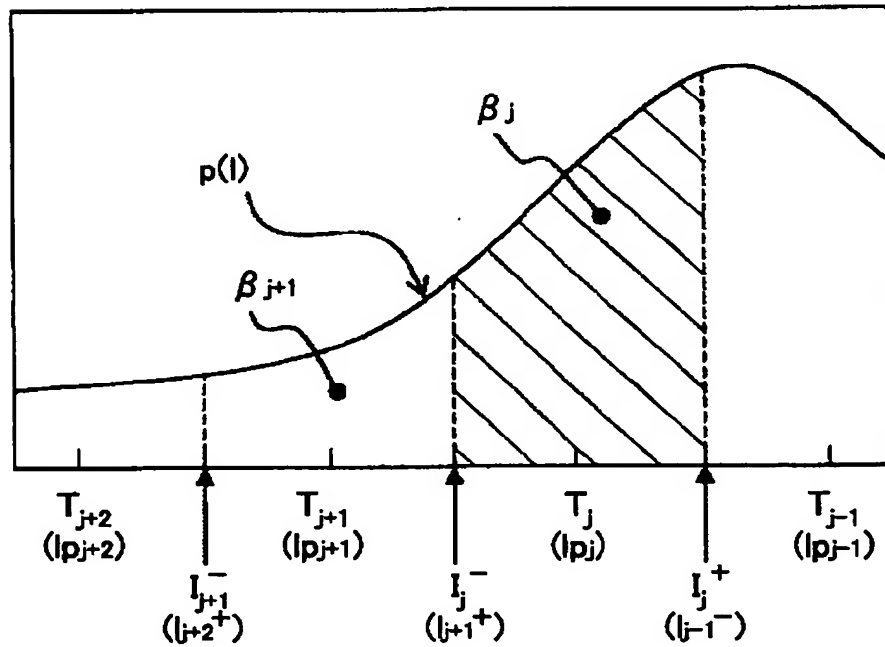


[図26]

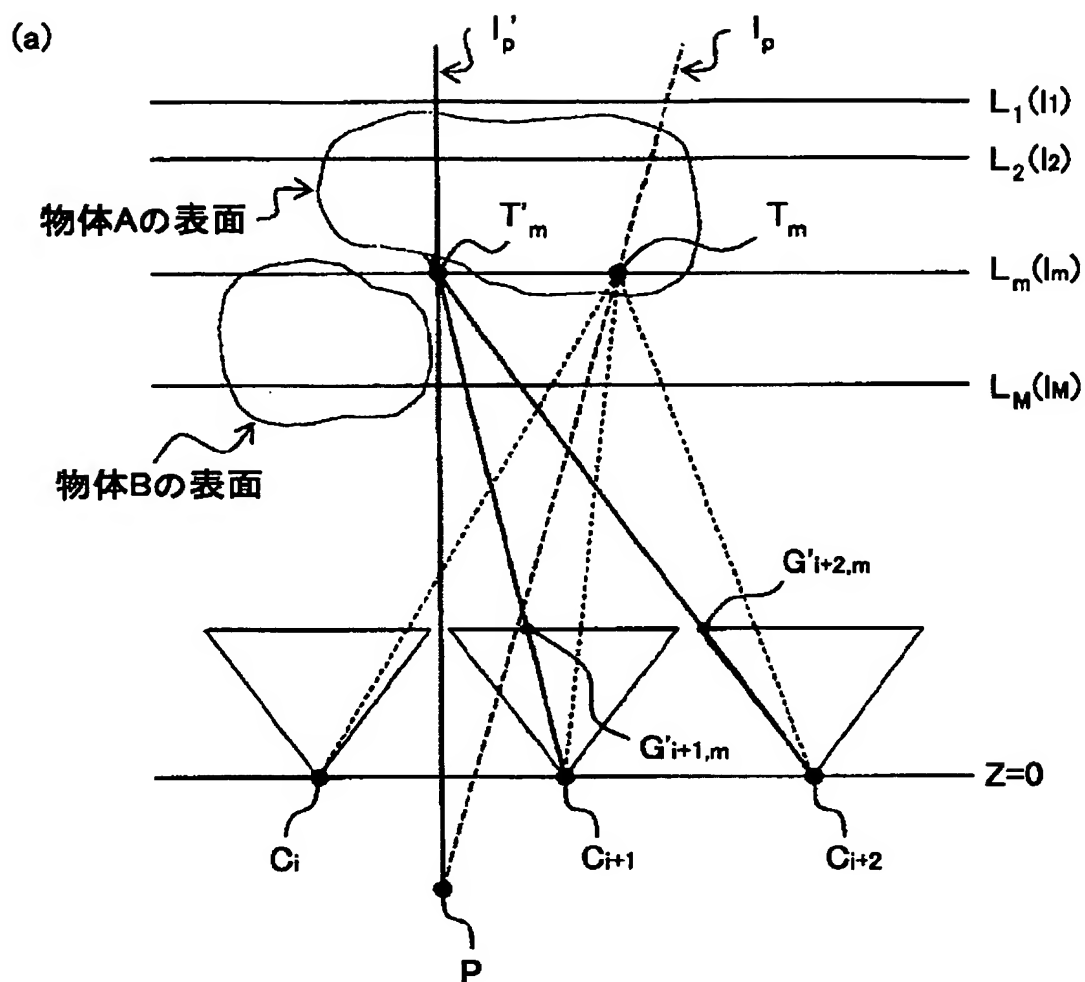
(a)



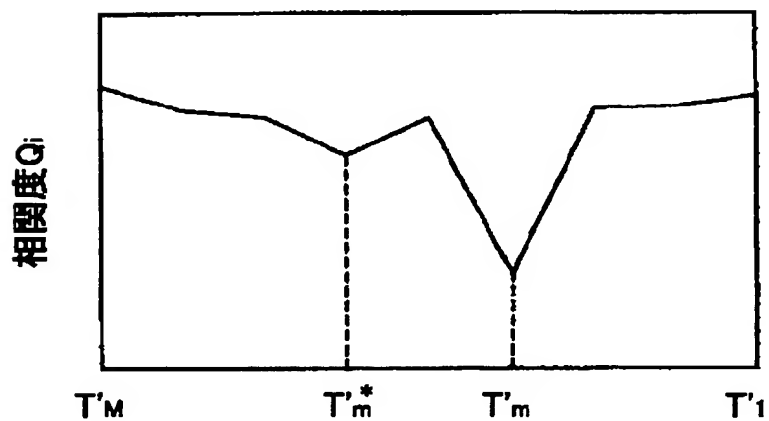
(b)



[図27]

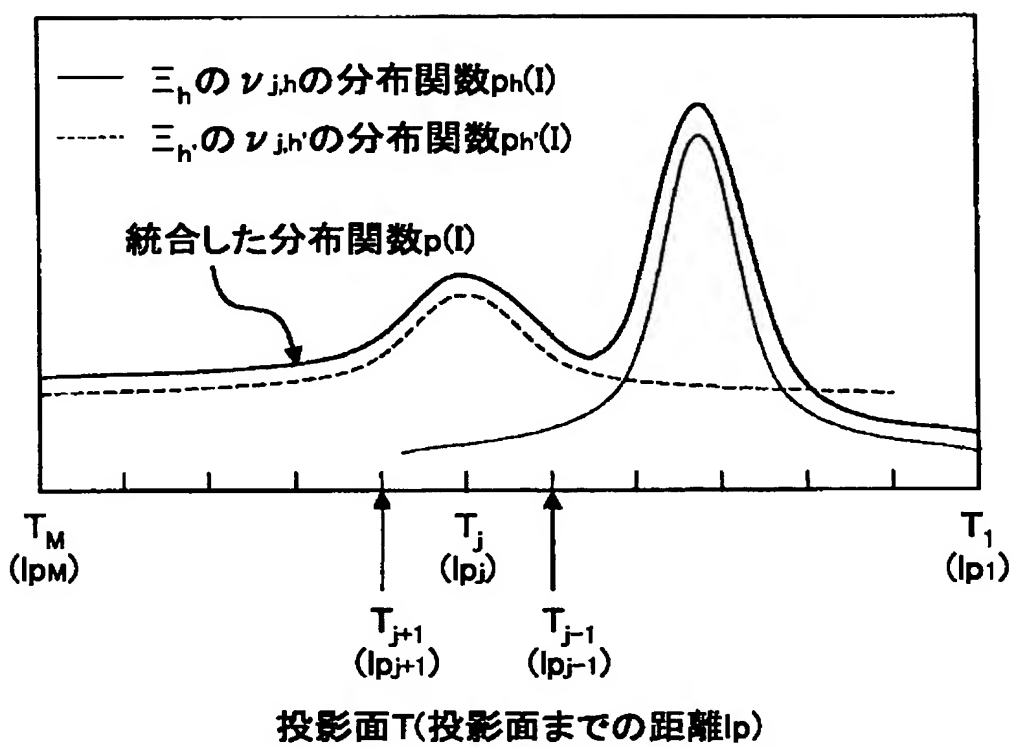


(b)

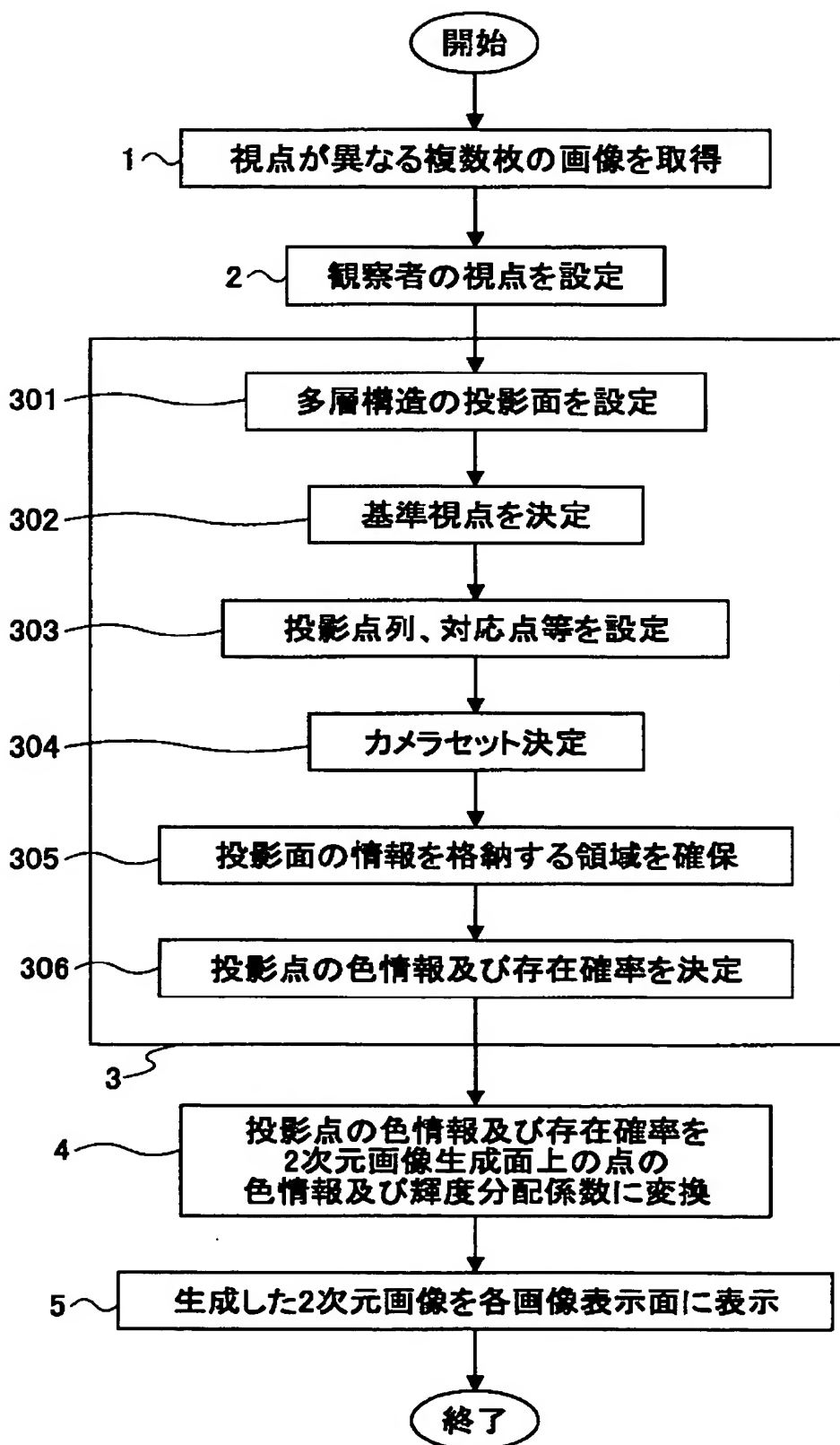


基準視点から見て重なり合う投影点 T_j

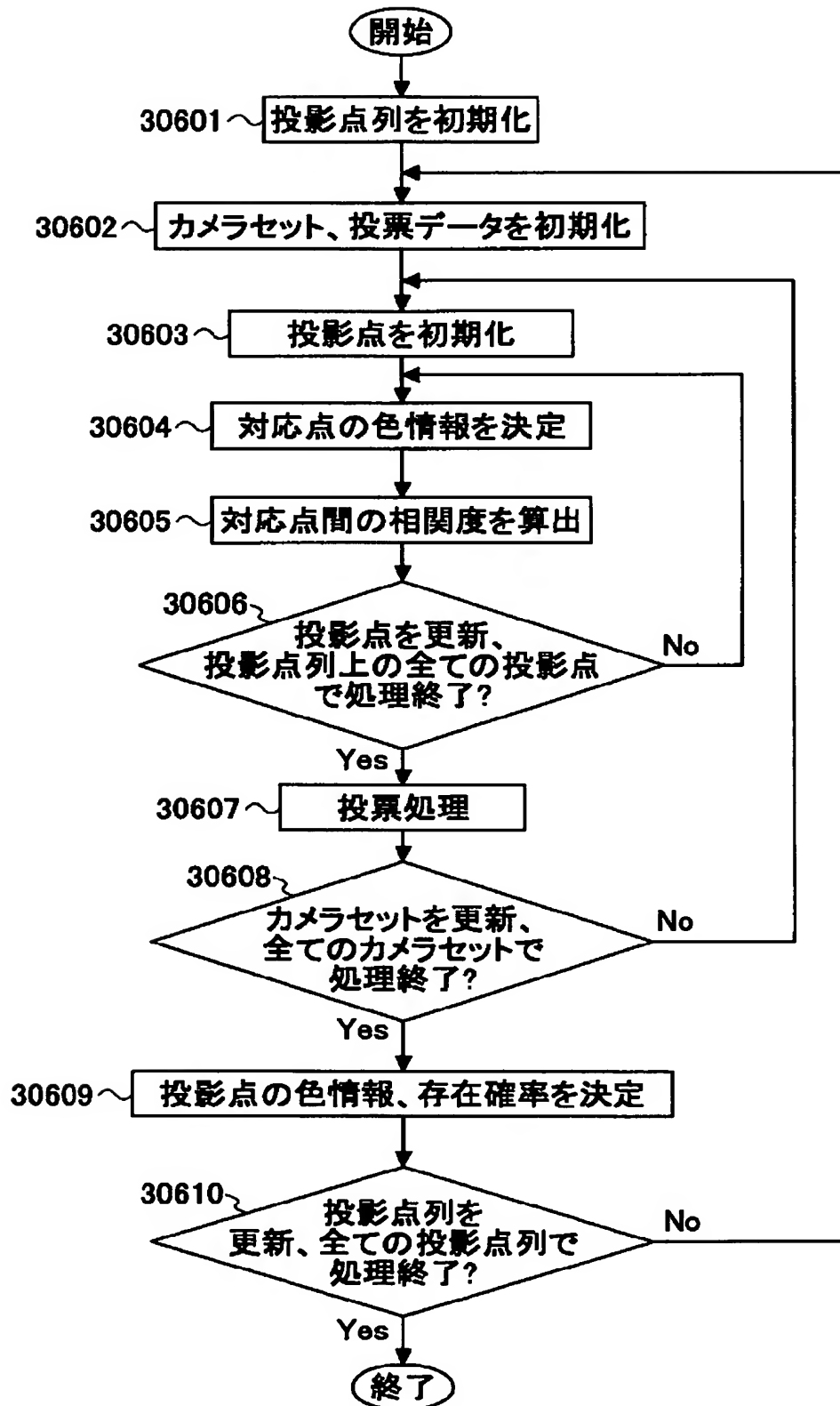
[図28]



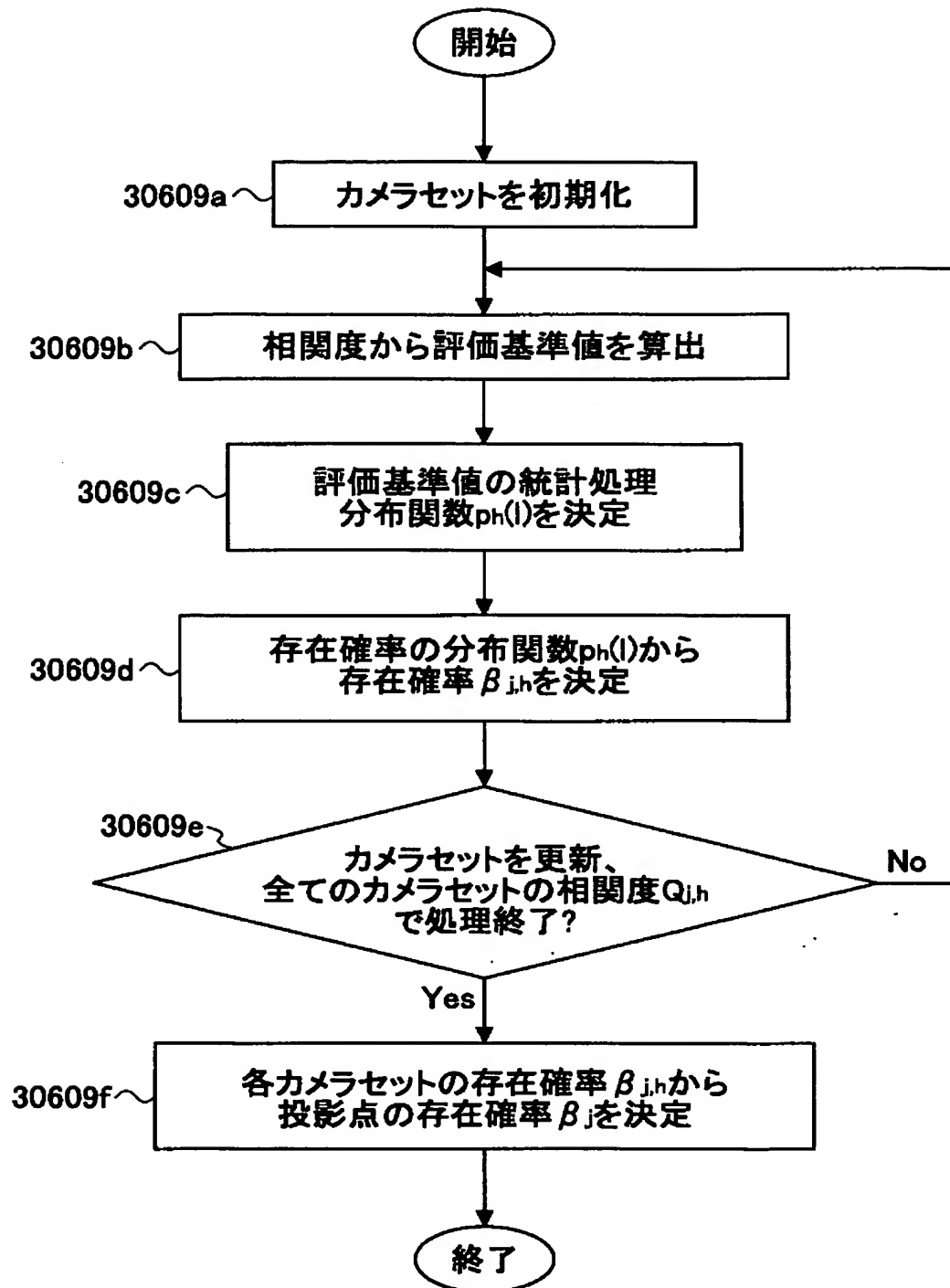
[図29]



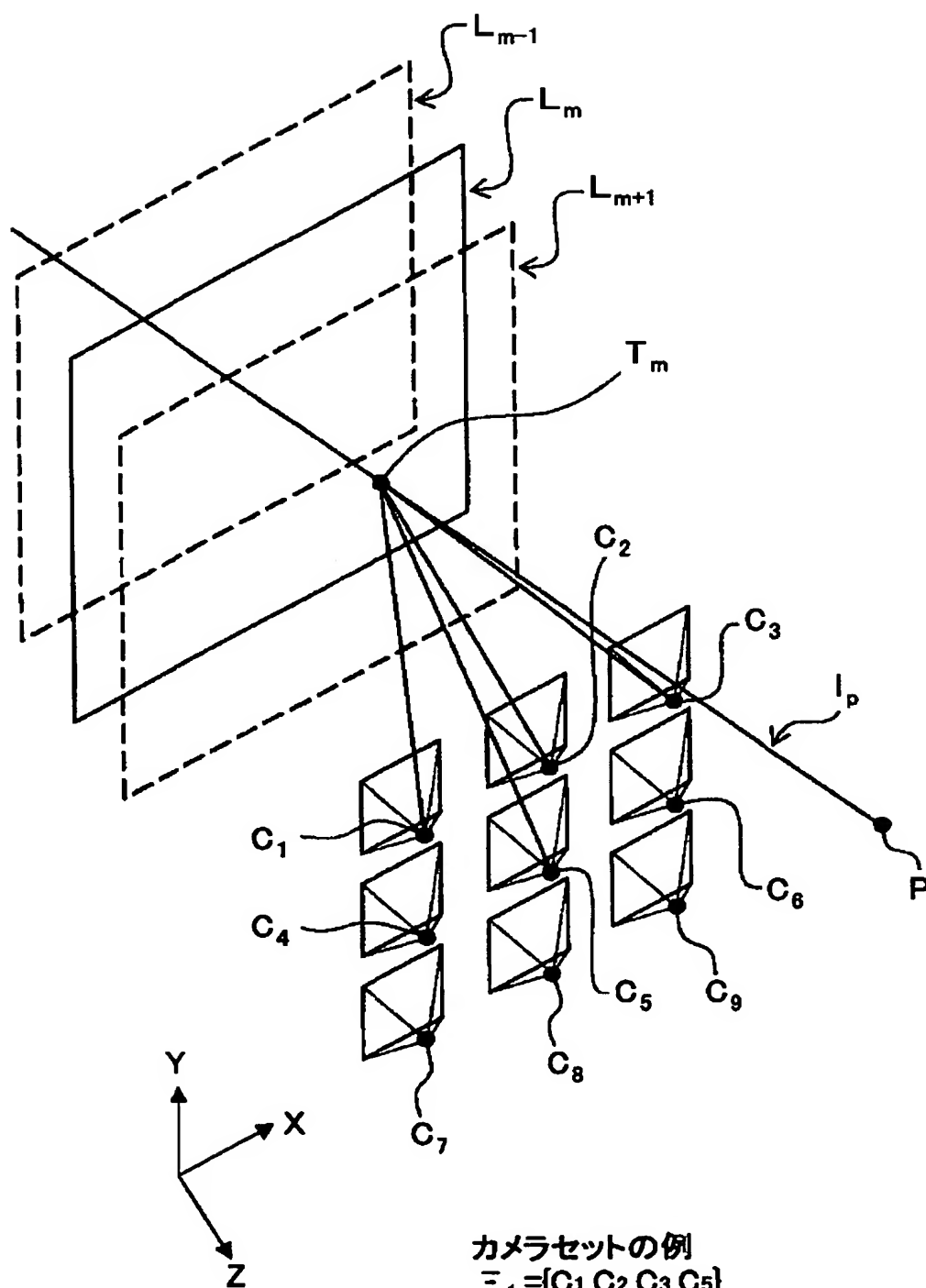
[図30]



[図31]



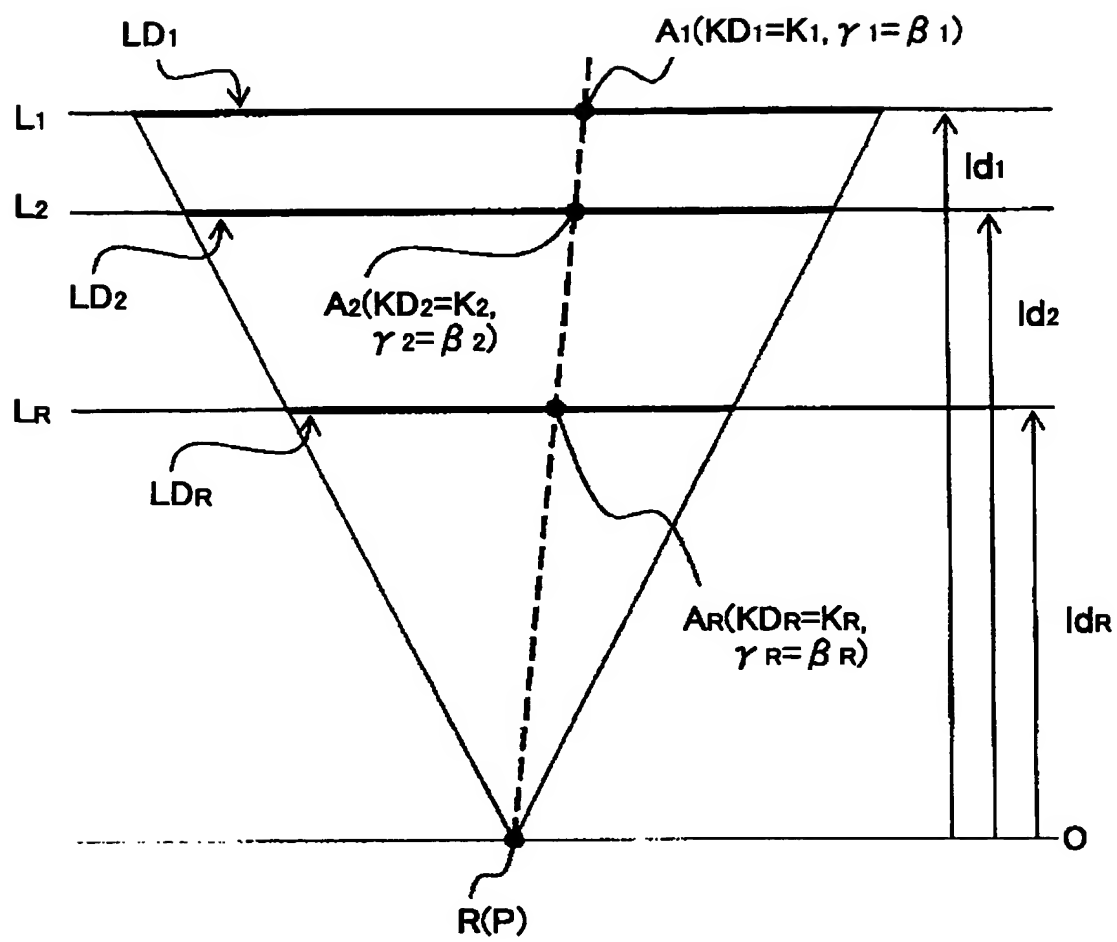
[図32]



カメラセットの例

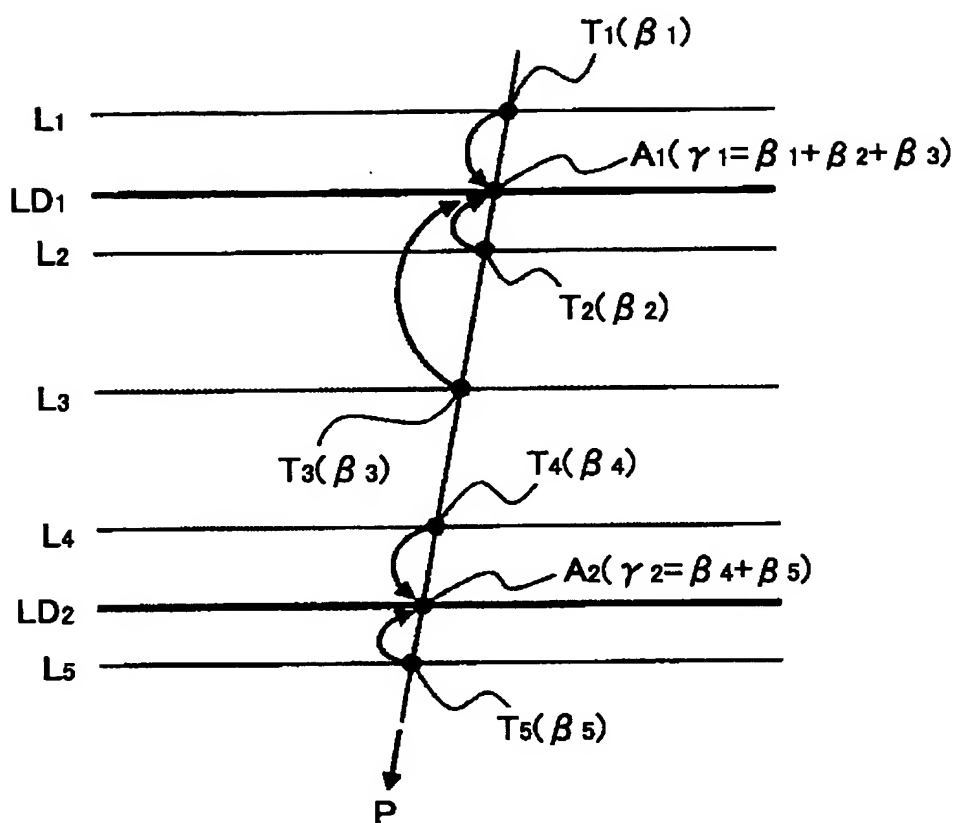
 $\Xi_1 = \{C_1, C_2, C_3, C_5\}$ $\Xi_2 = \{C_3, C_5, C_6, C_9\}$ $\Xi_3 = \{C_5, C_7, C_8, C_9\}$ $\Xi_4 = \{C_1, C_4, C_5, C_7\}$

[図33]

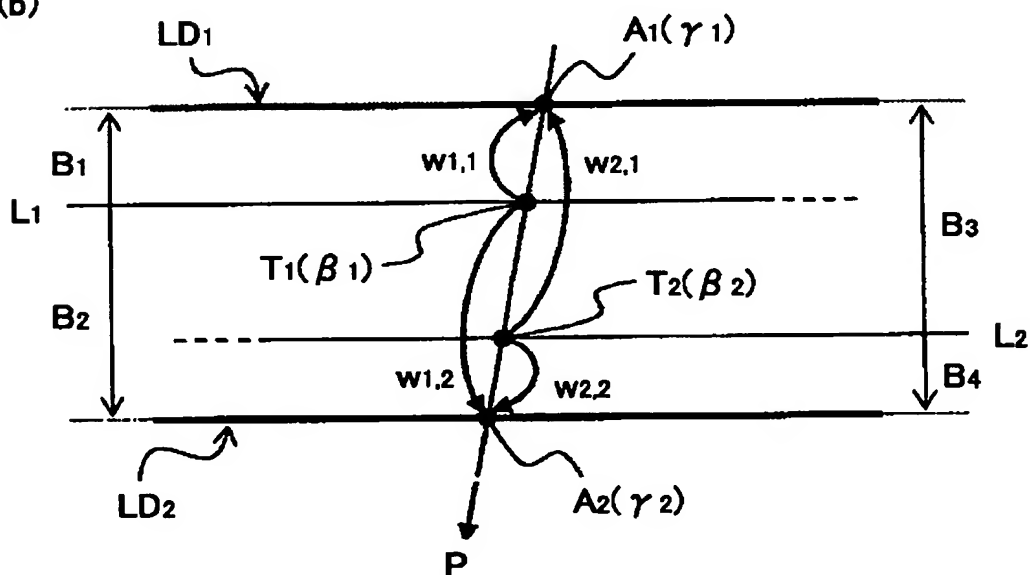


[図34]

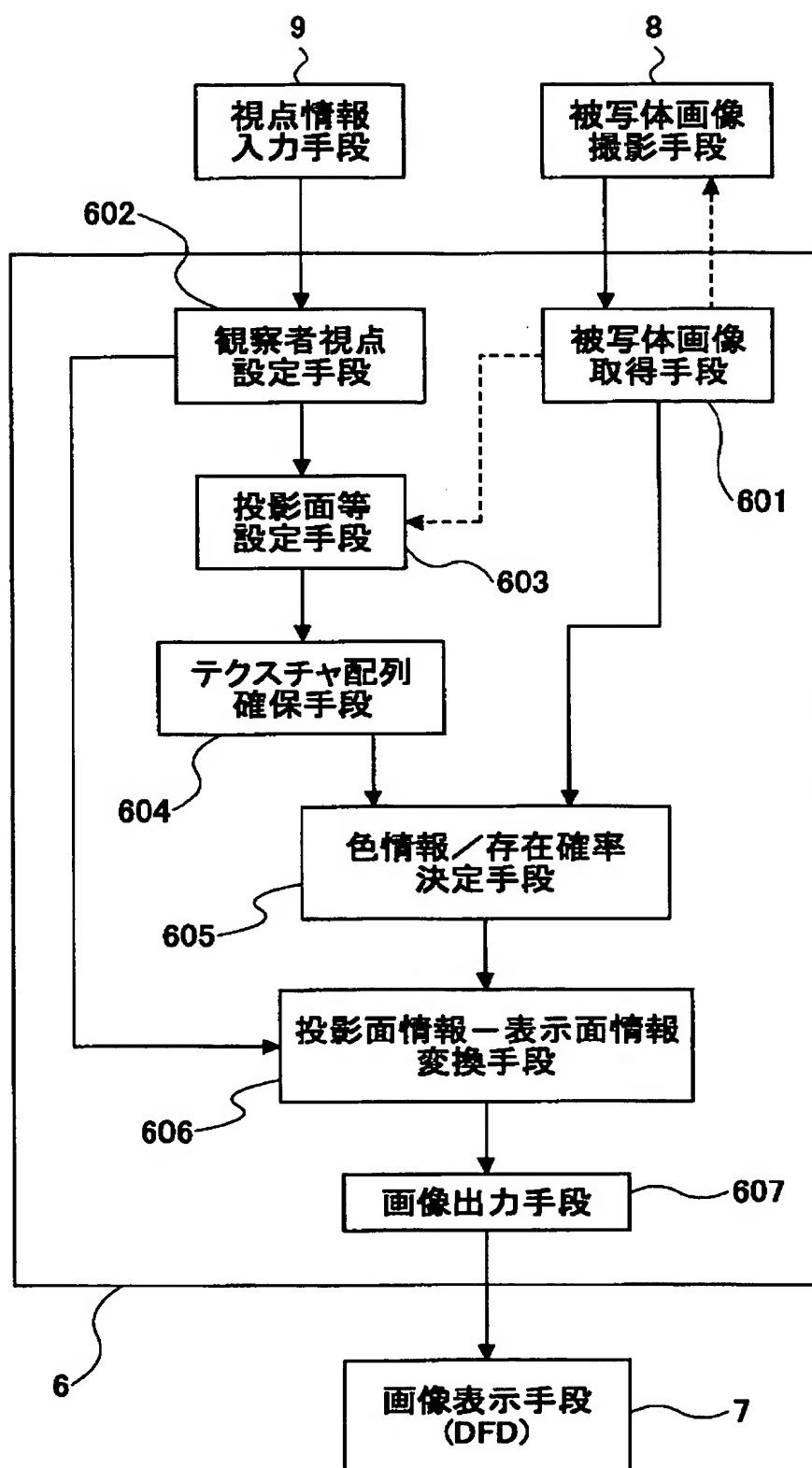
(a)



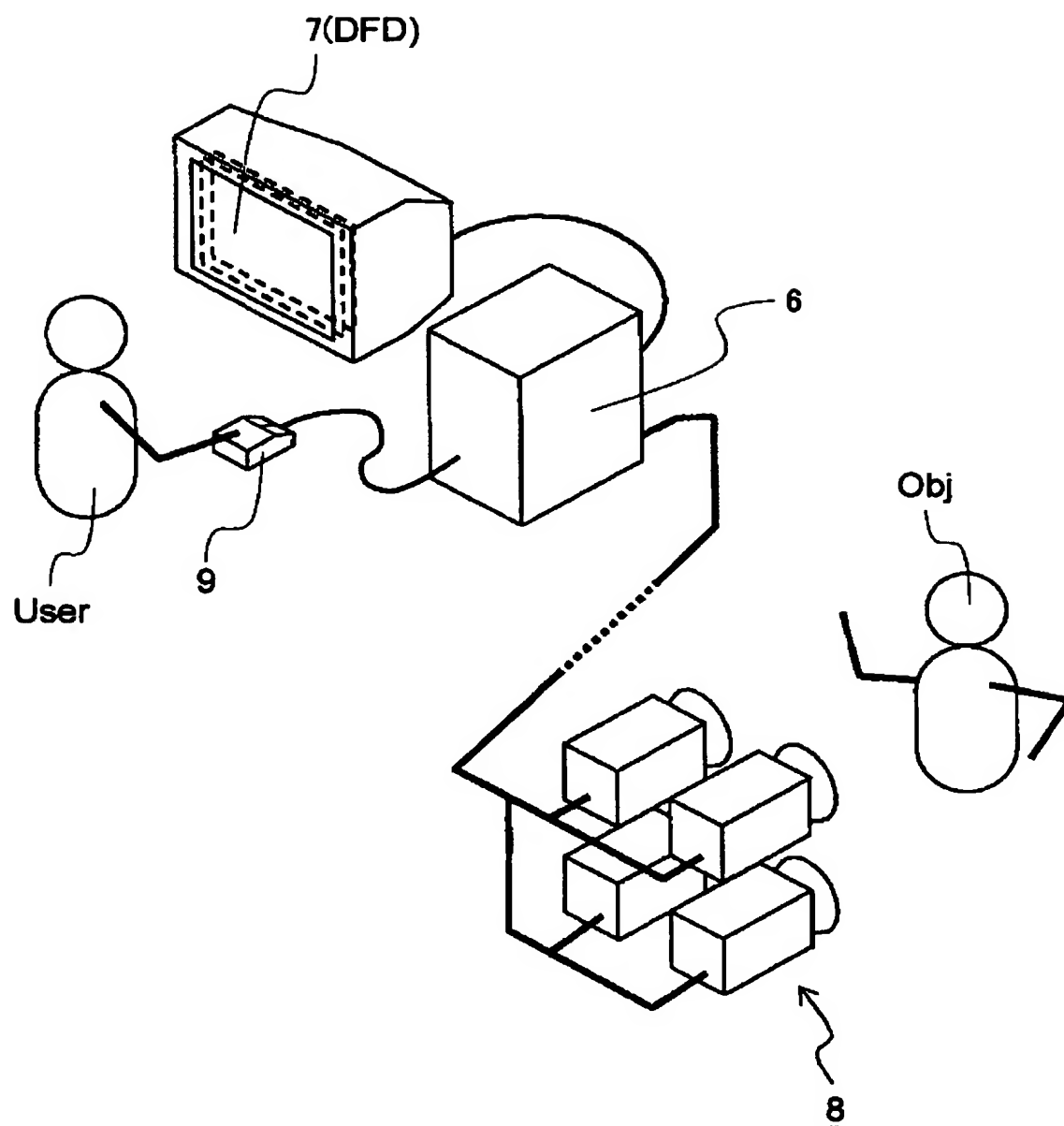
(b)



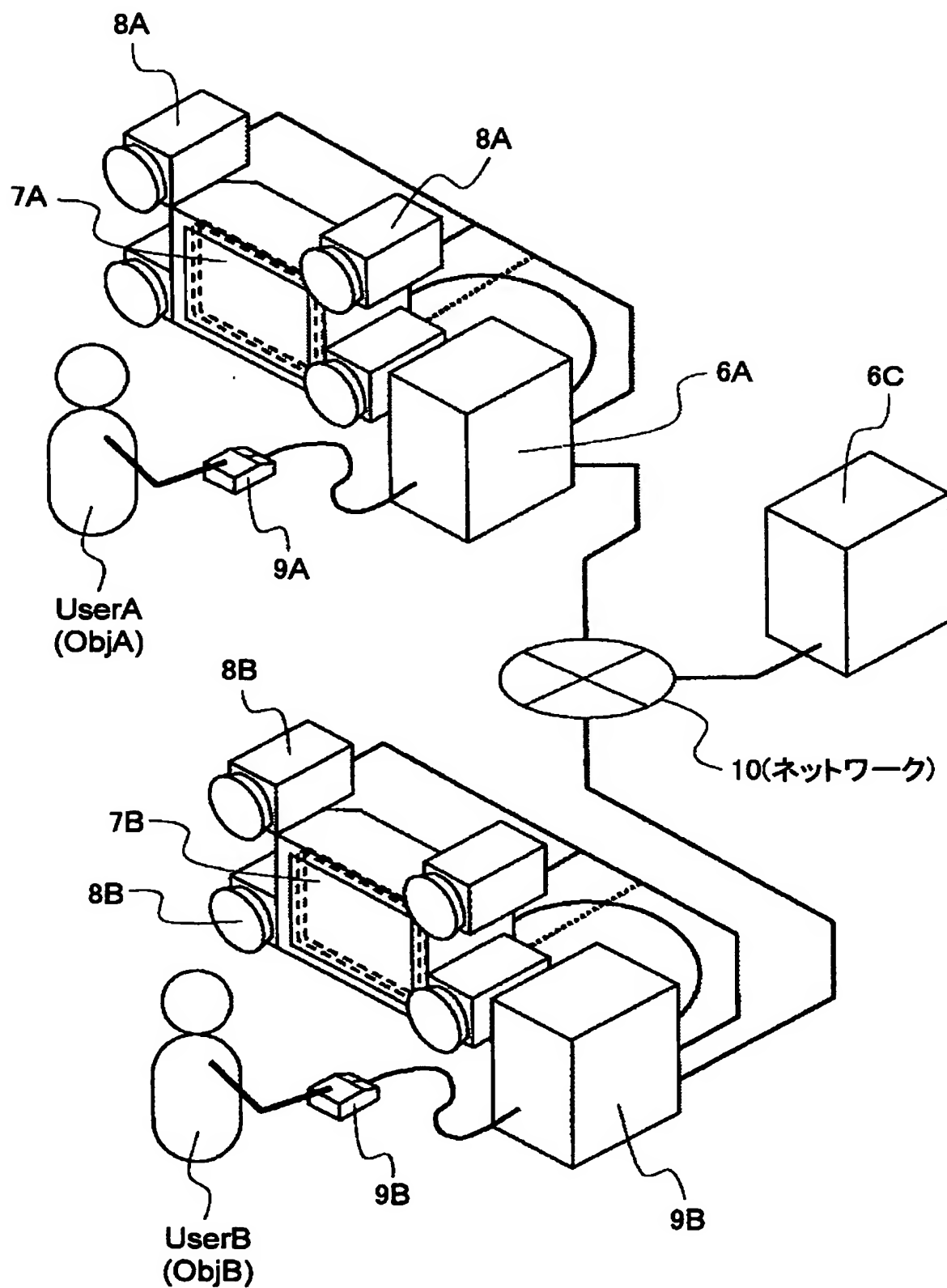
[図35]



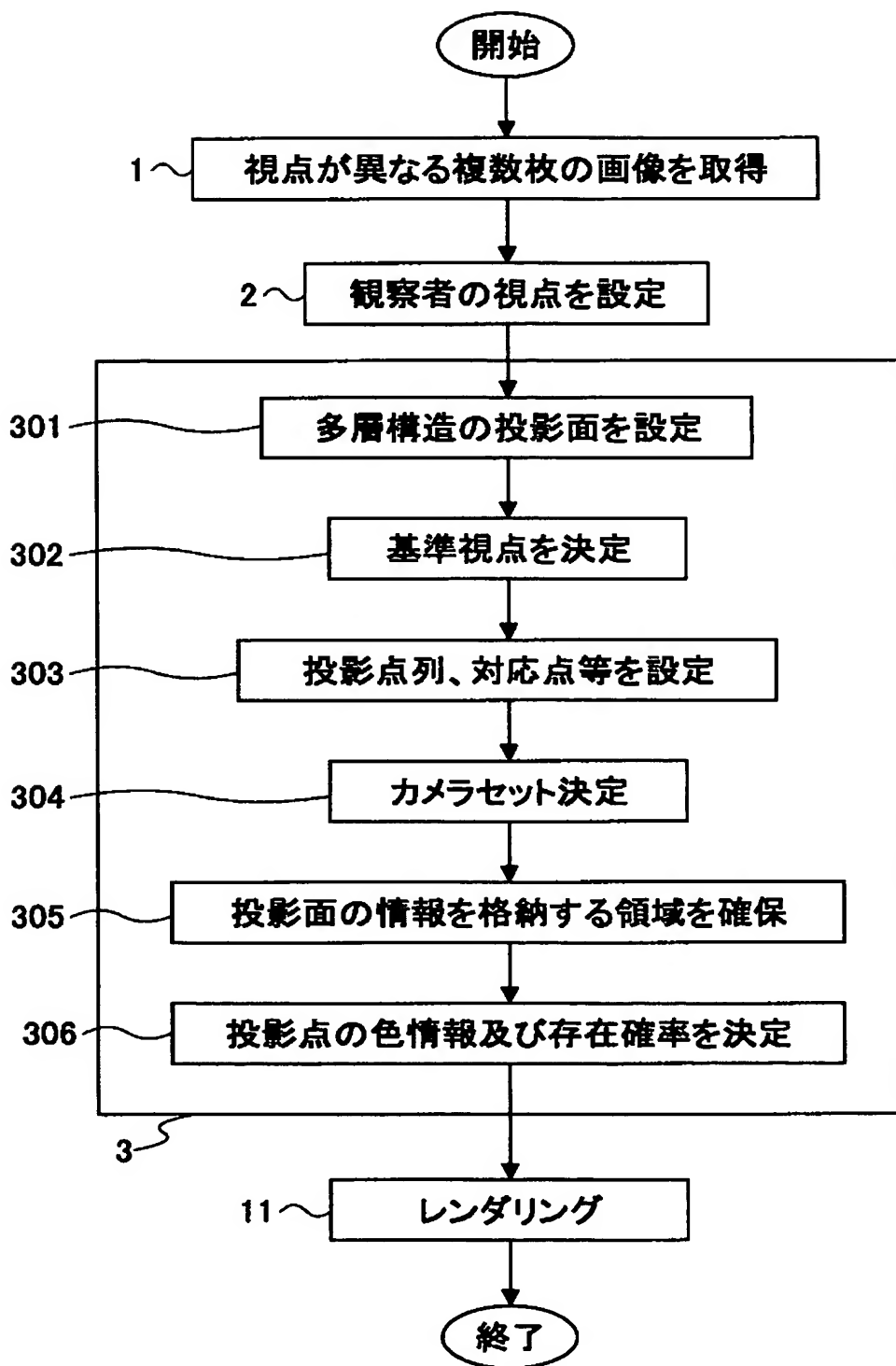
[図36]



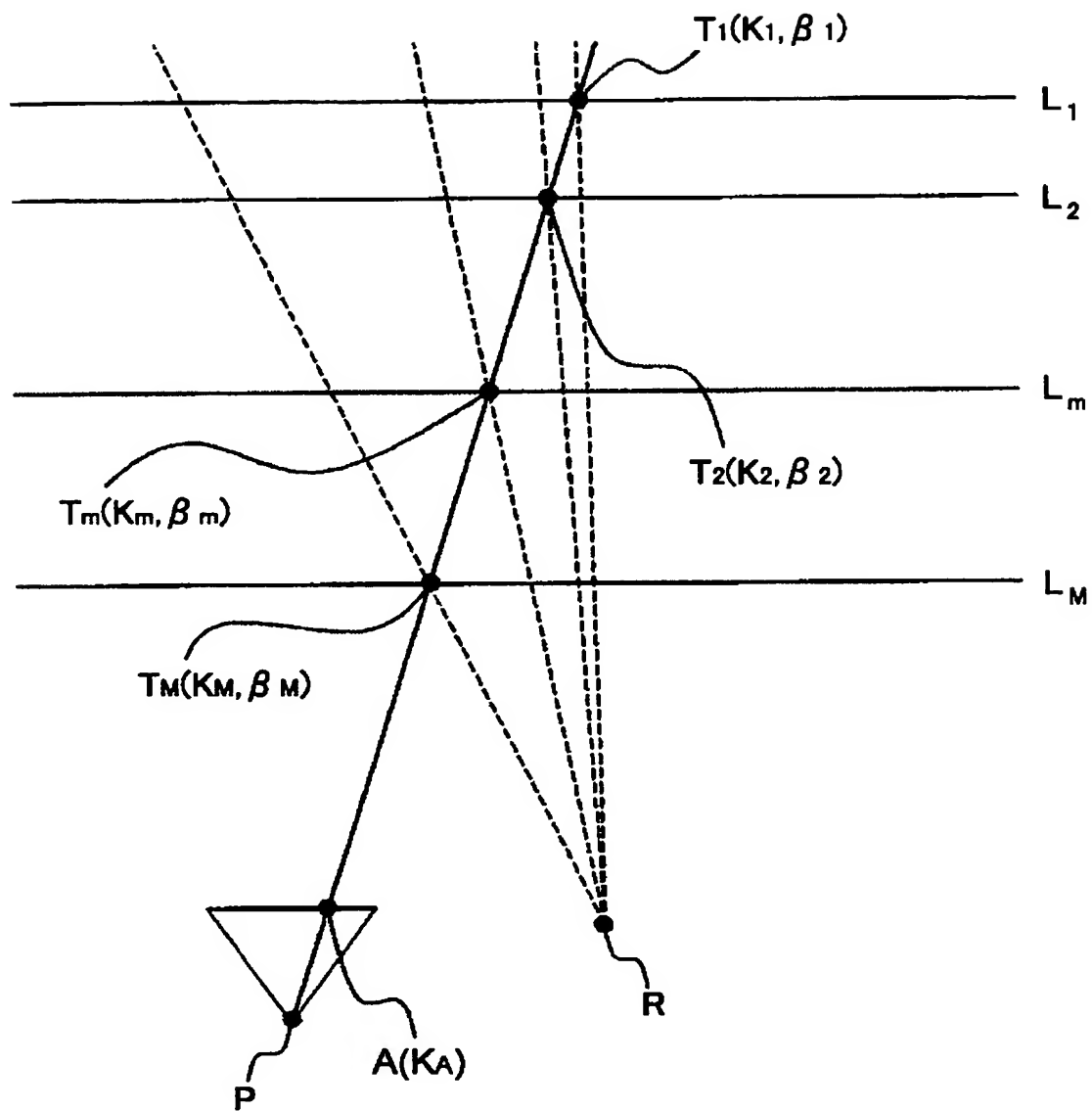
[図37]



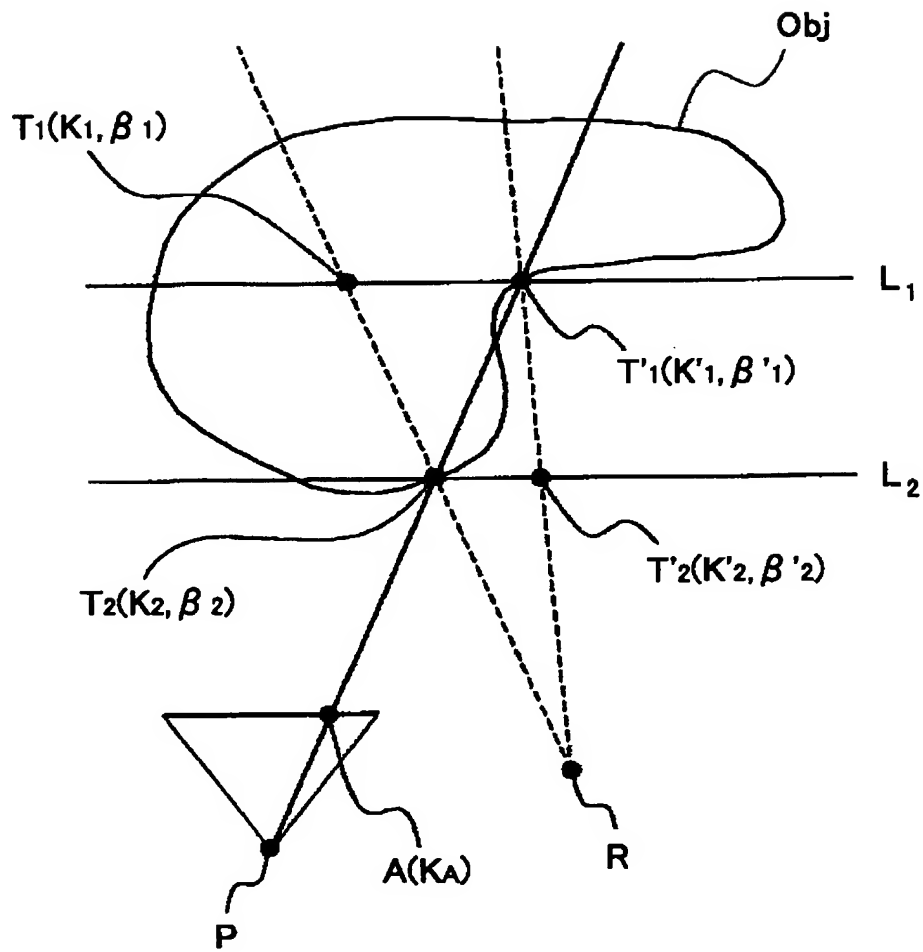
[図38]



[図39]



[図40]

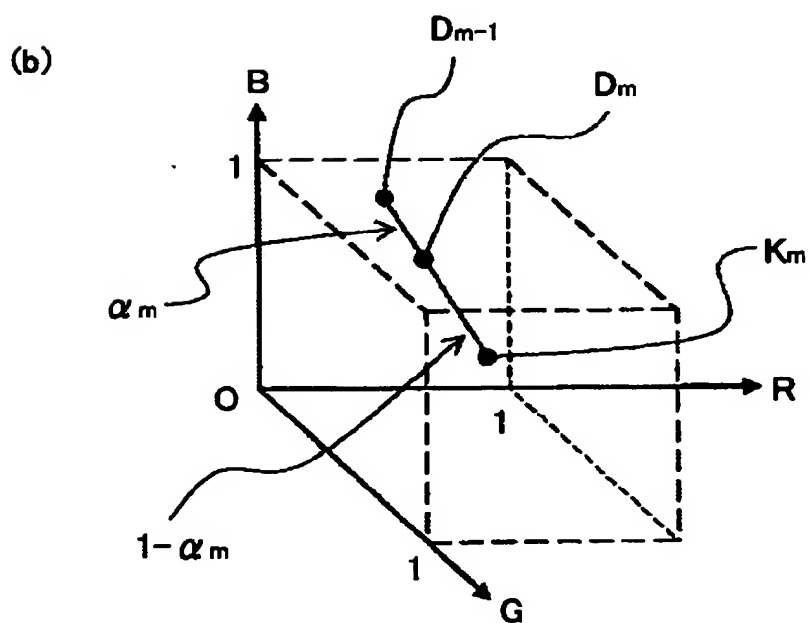
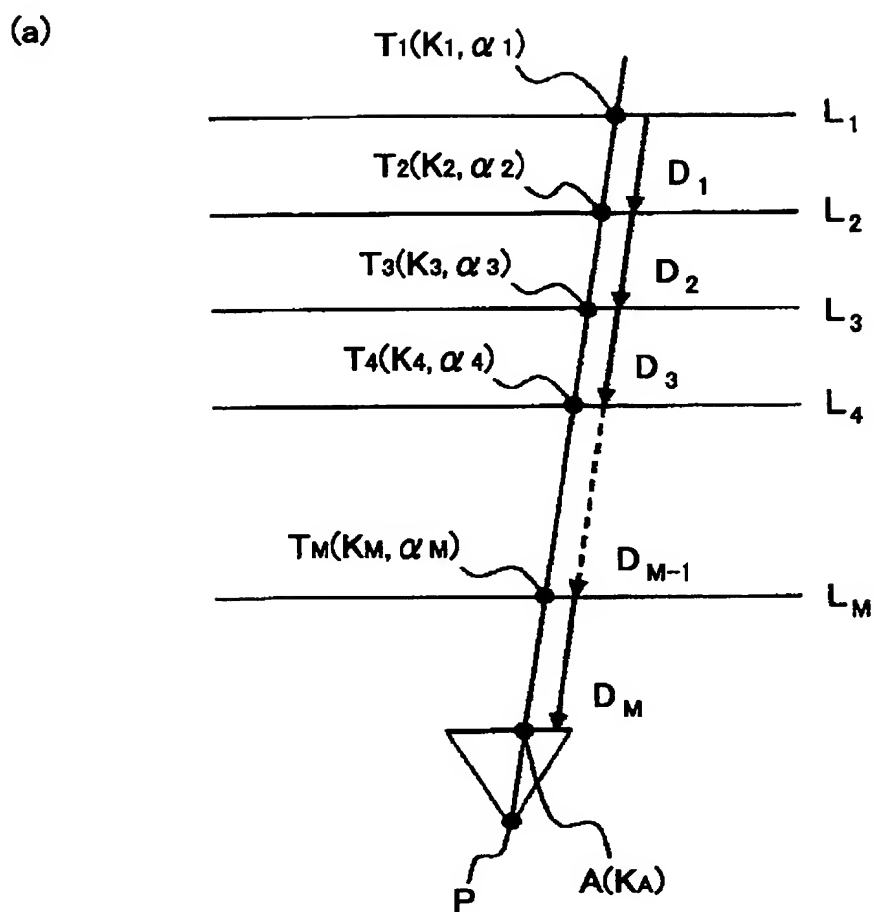


$$\beta_1 \cong 0, \quad \beta_2 \cong 1$$

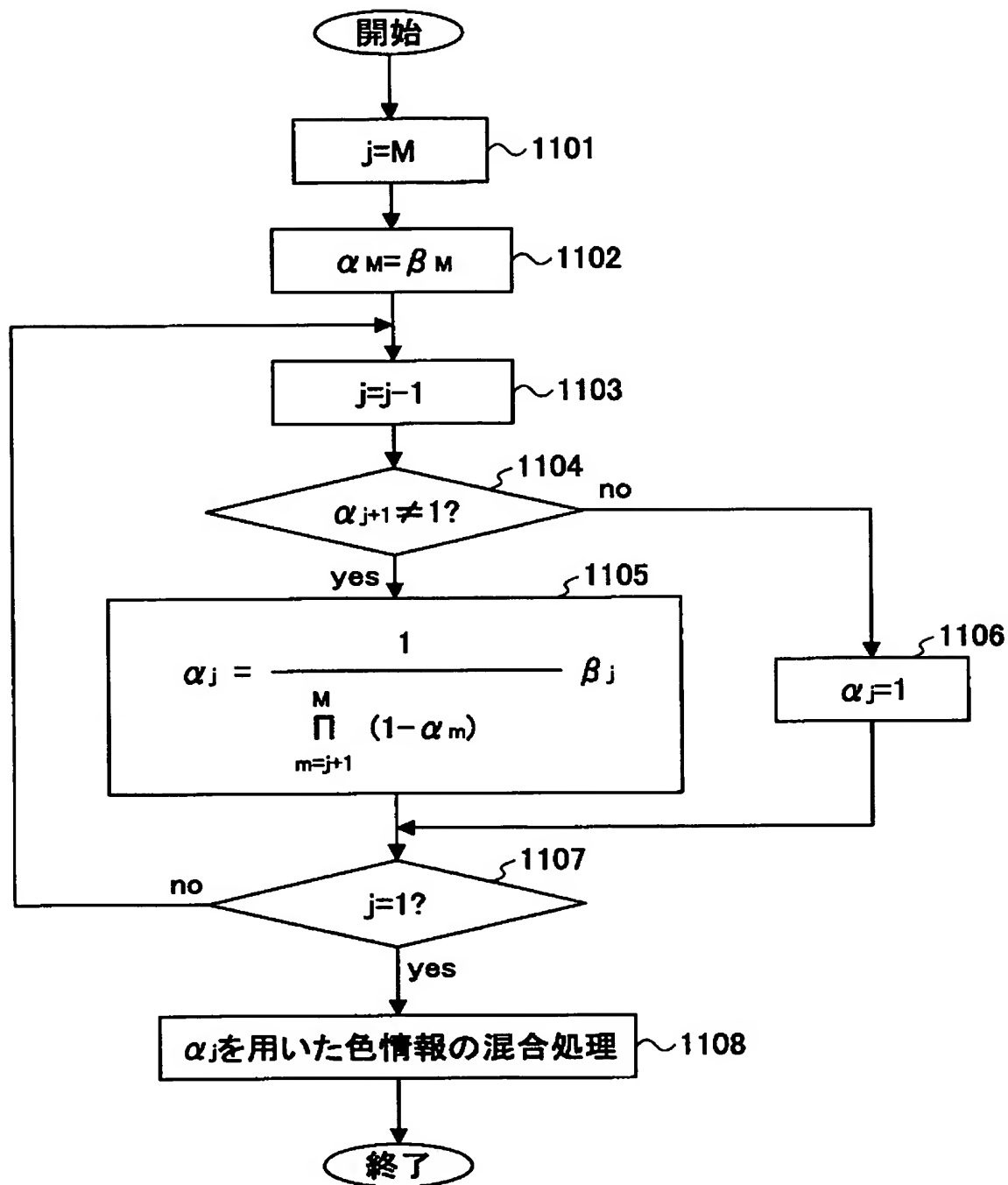
$$\beta'_1 \cong 1, \quad \beta'_2 \cong 0$$

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta_2 K_2 \doteq K'_1 + K_2$$

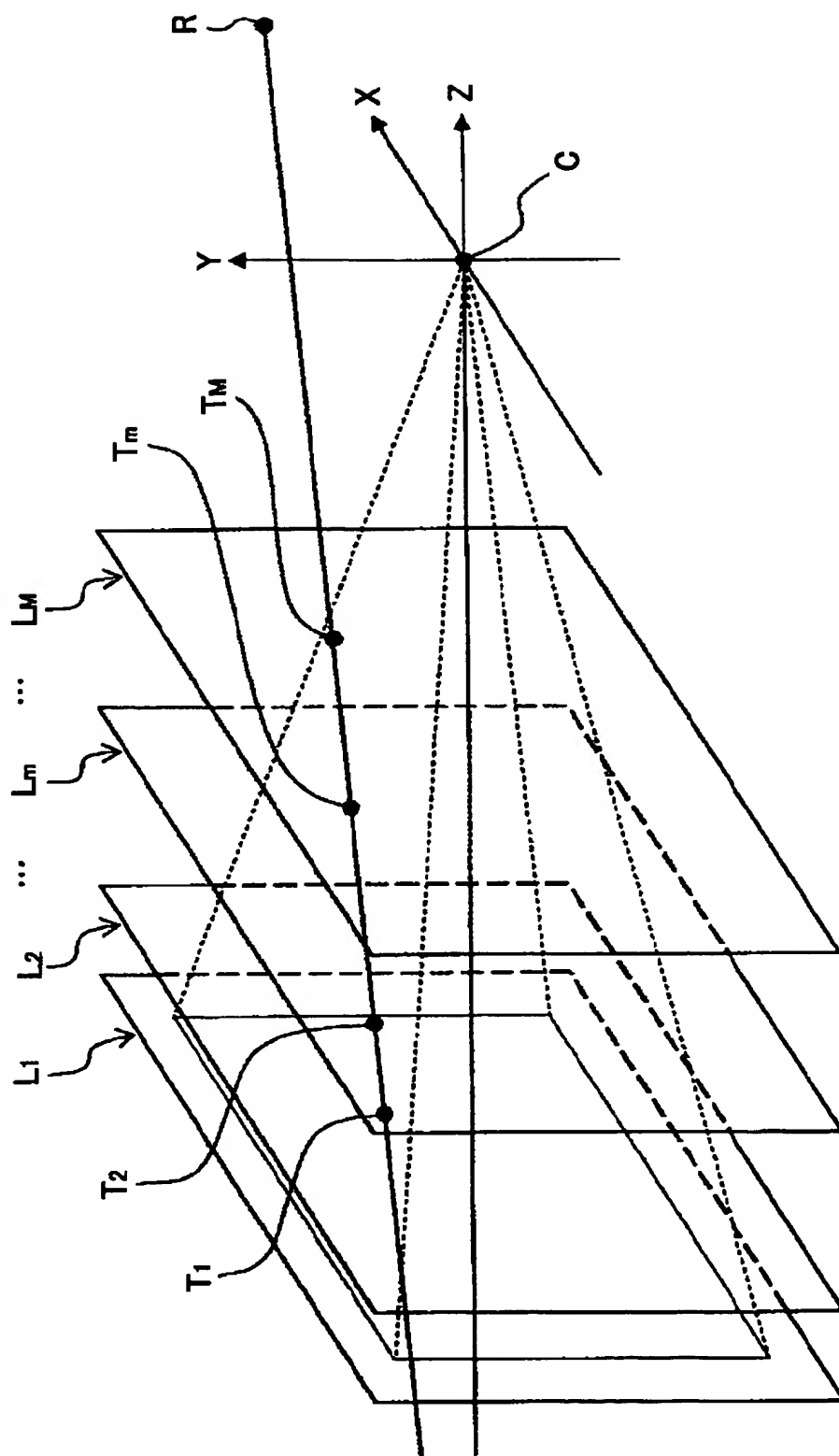
[図41]



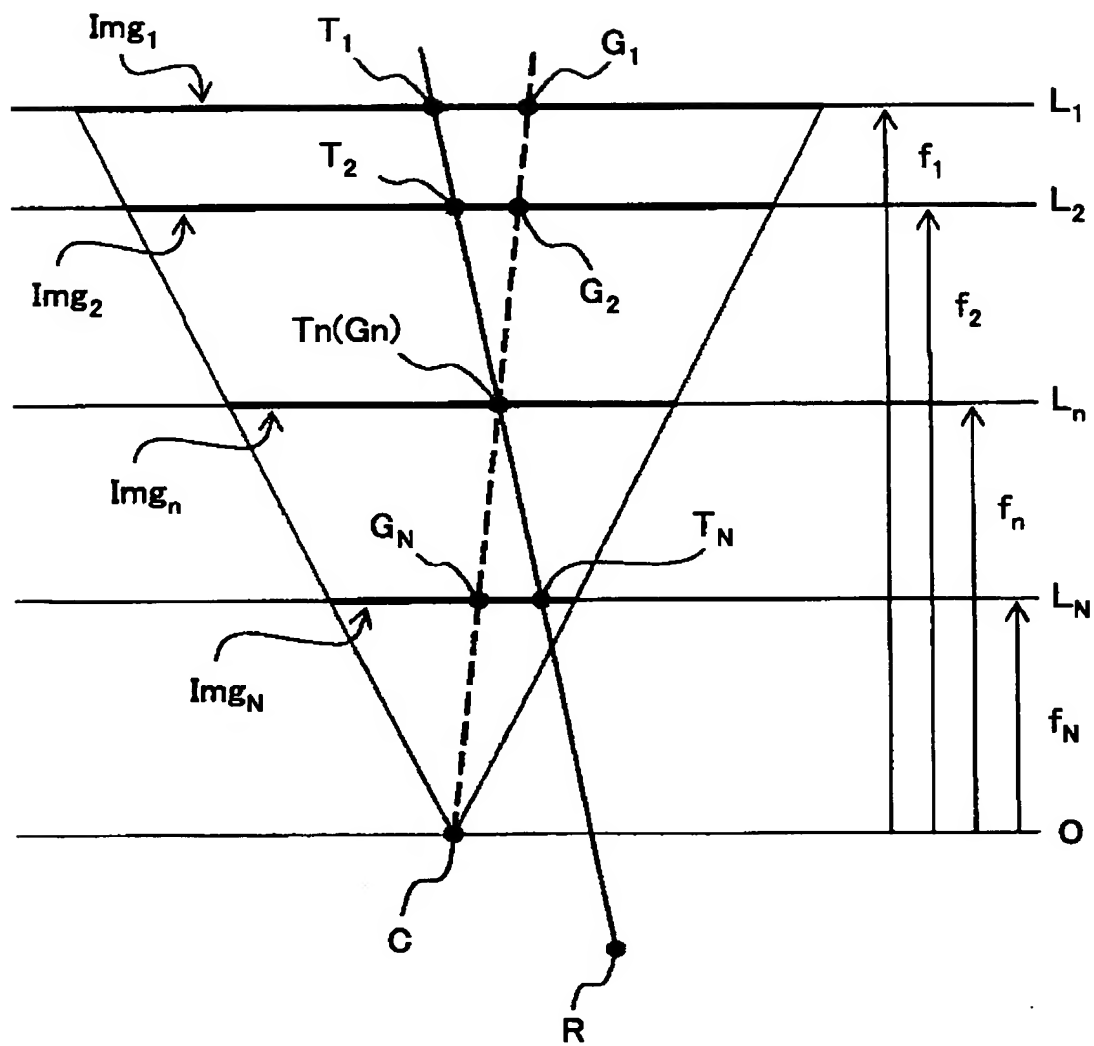
[図42]



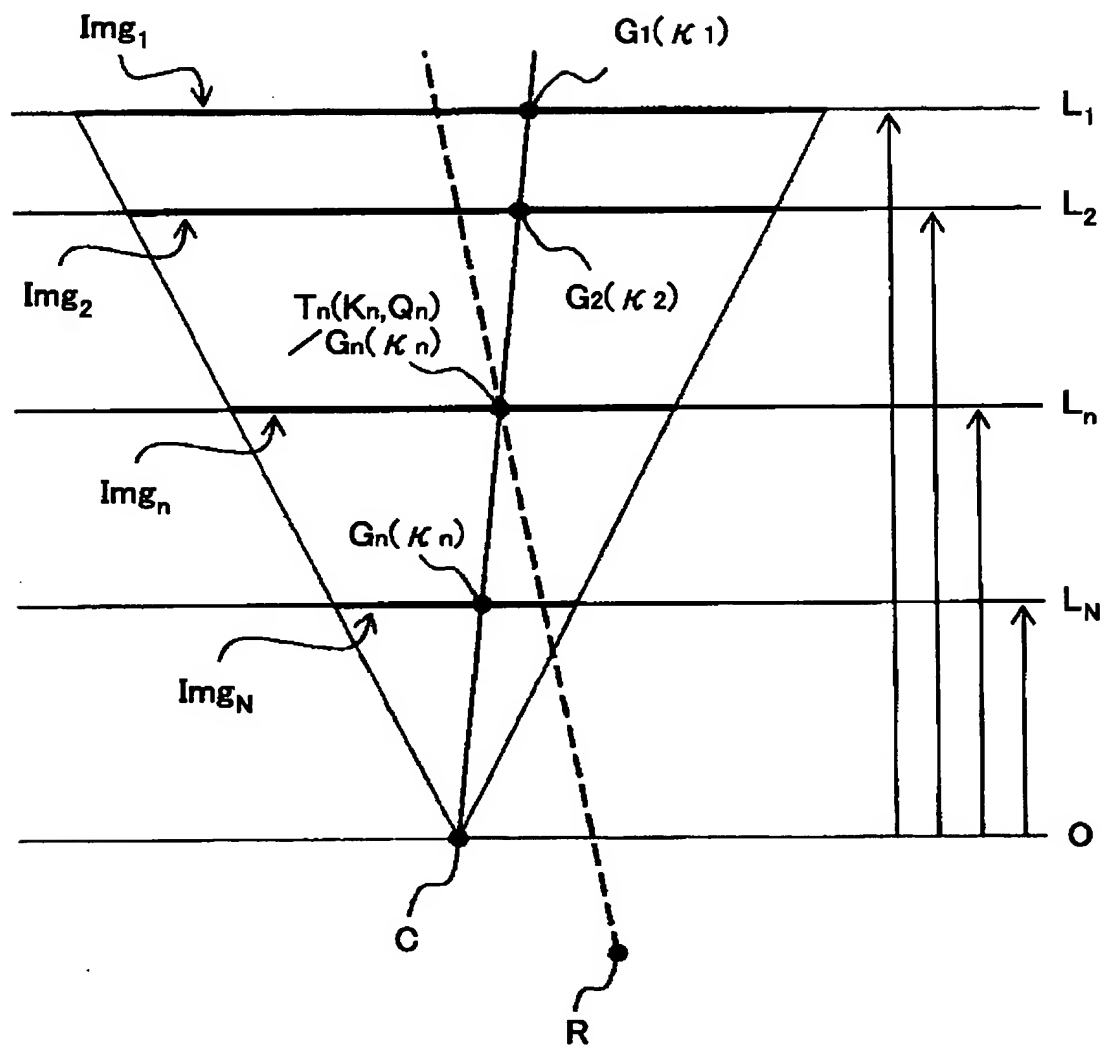
[図43]



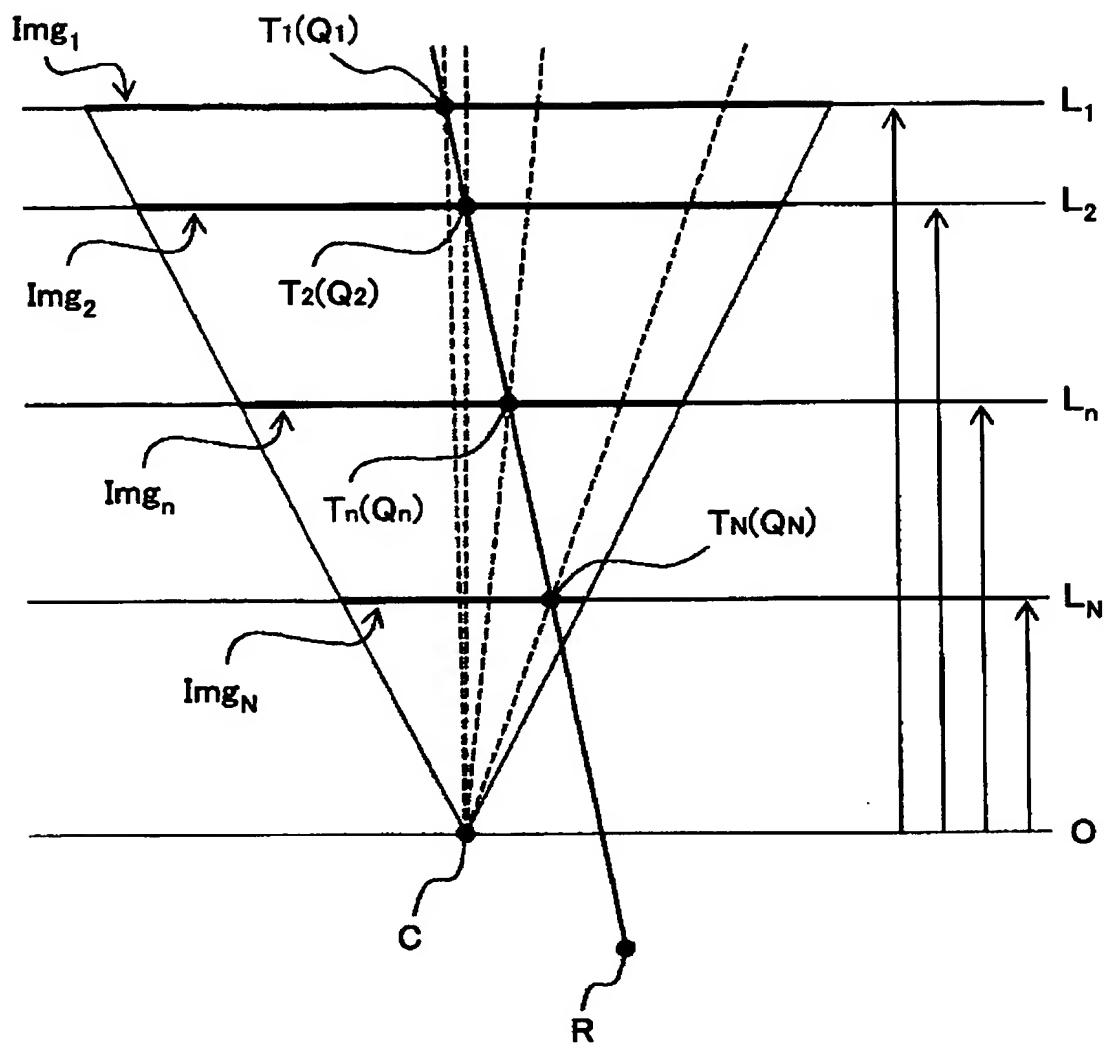
[図44]



[図45]

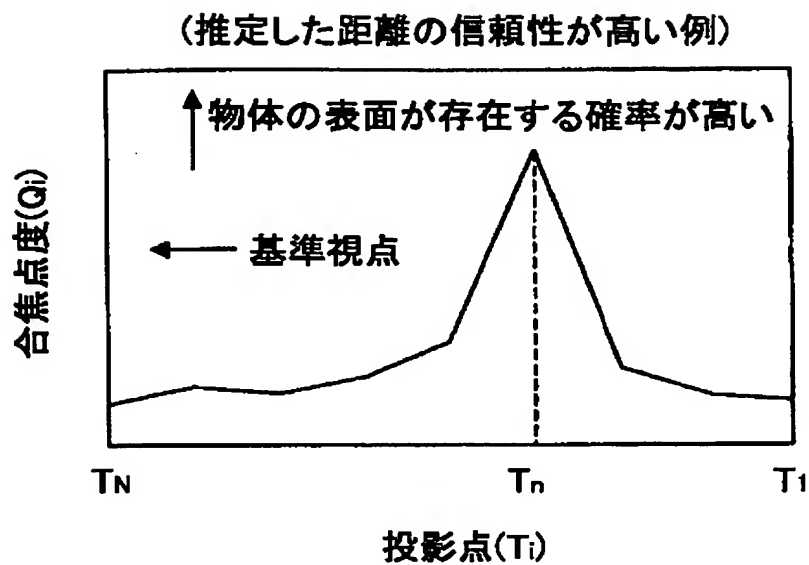


[図46]

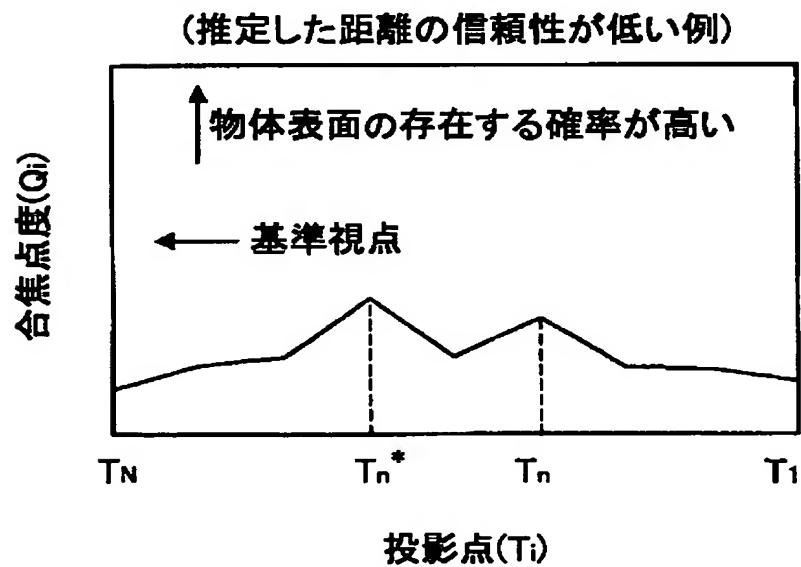


[図47]

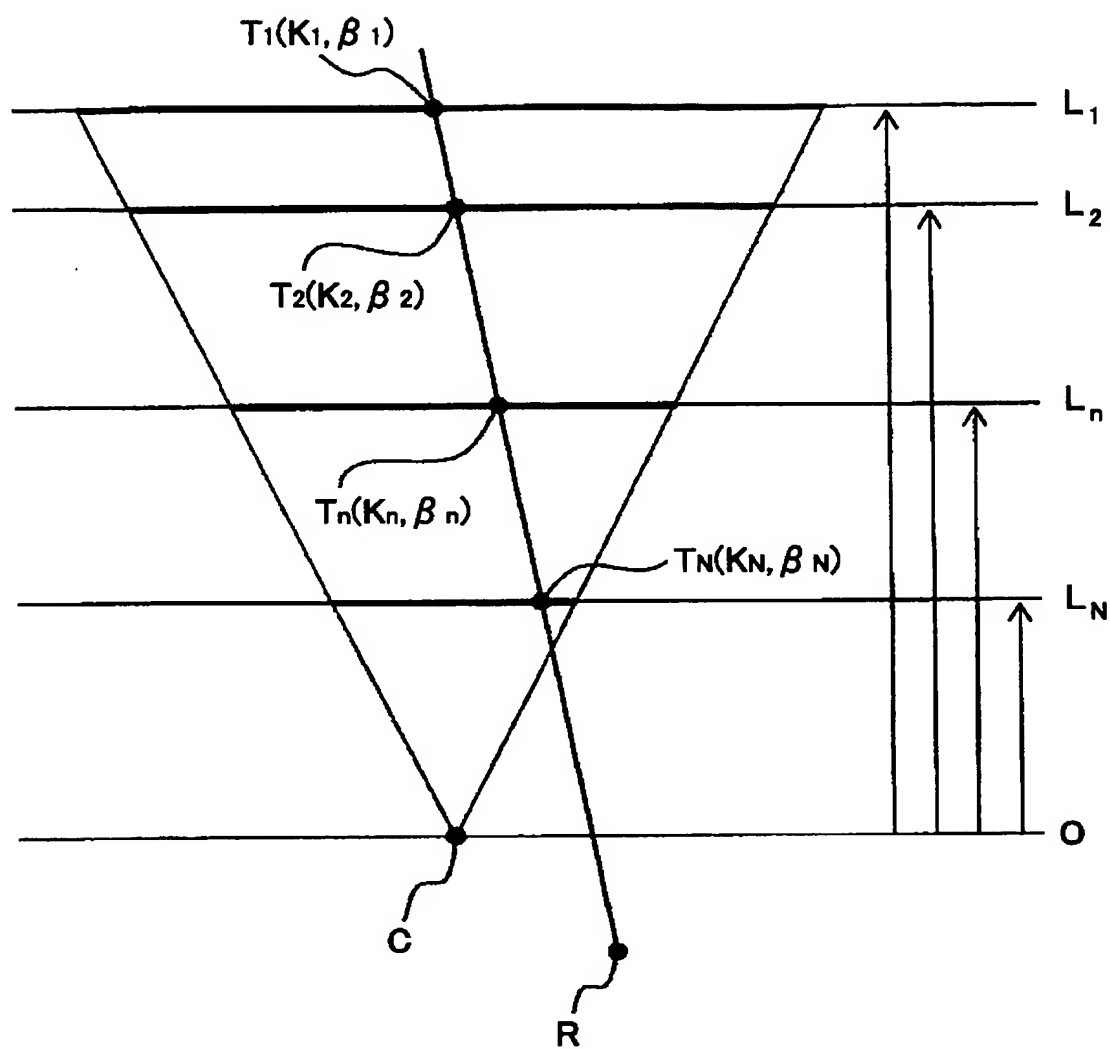
(a)



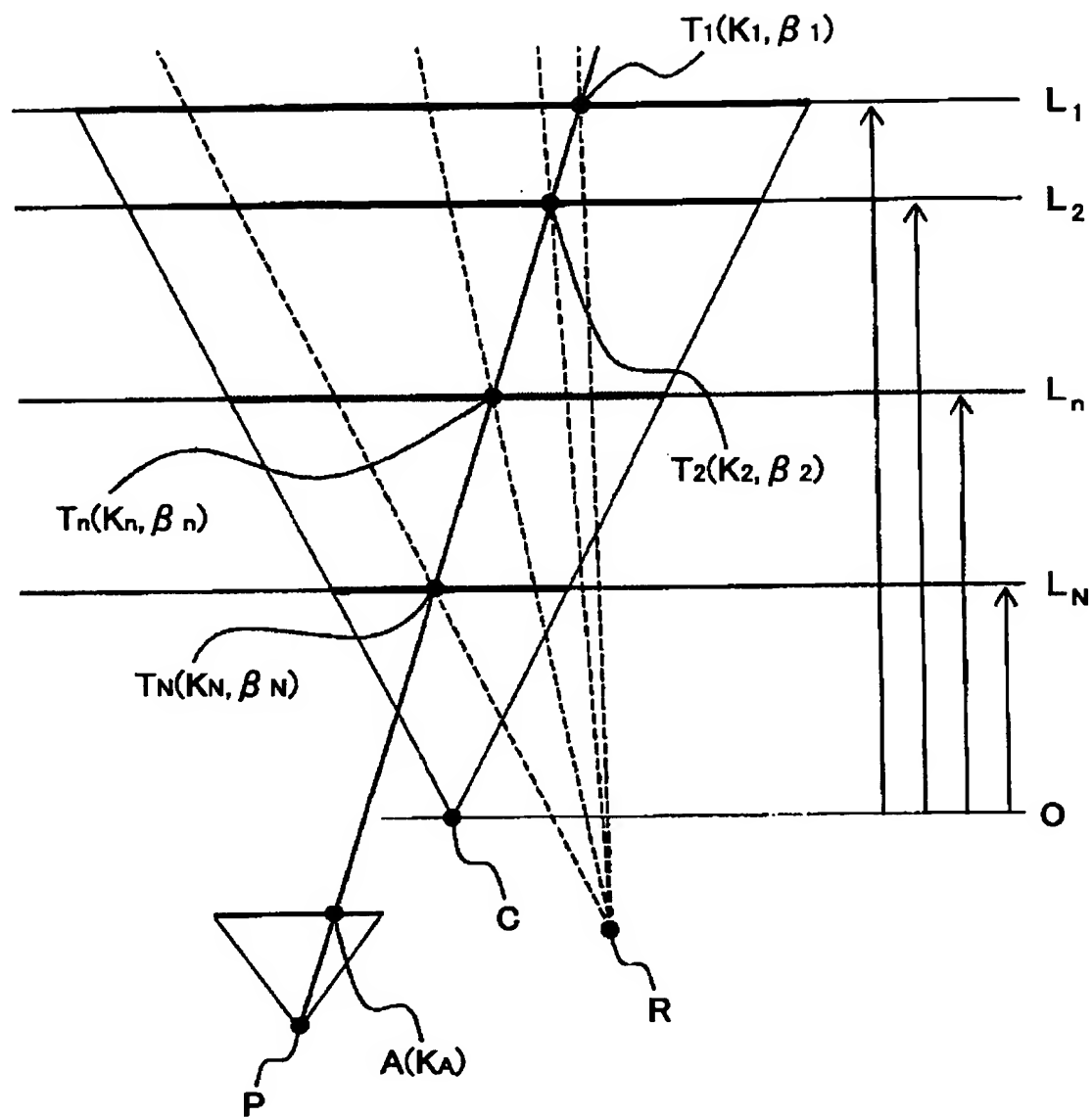
(b)



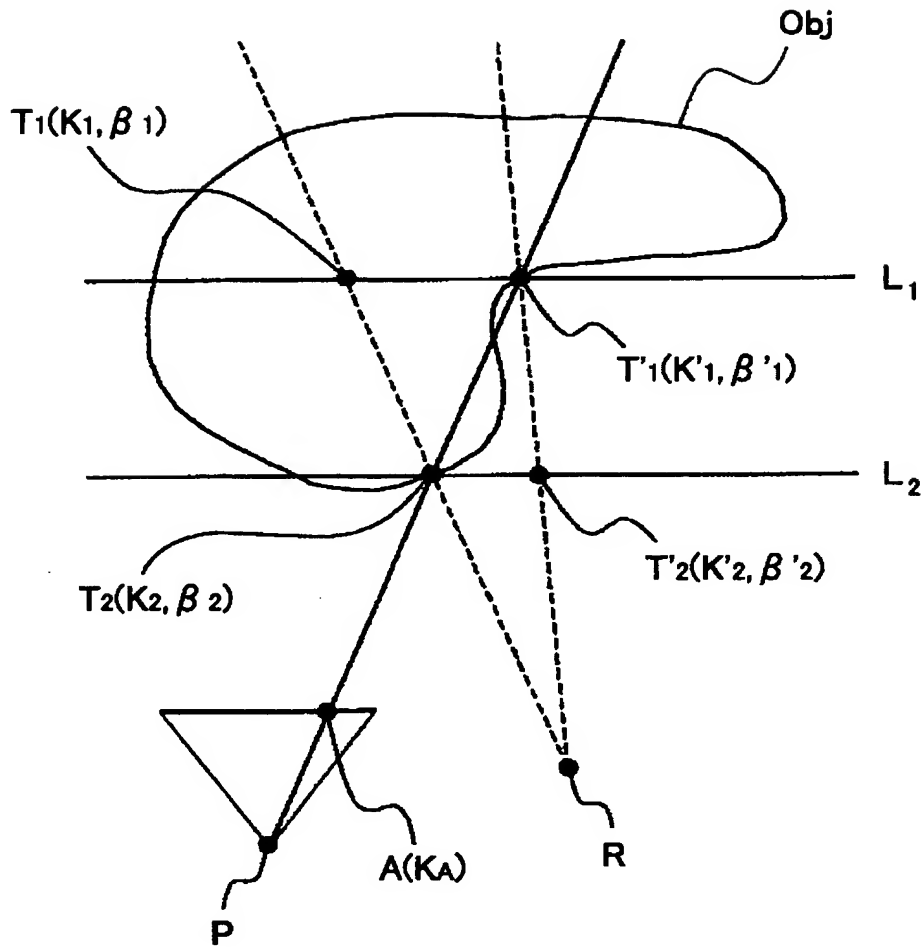
[図48]



[図49]



[図50]



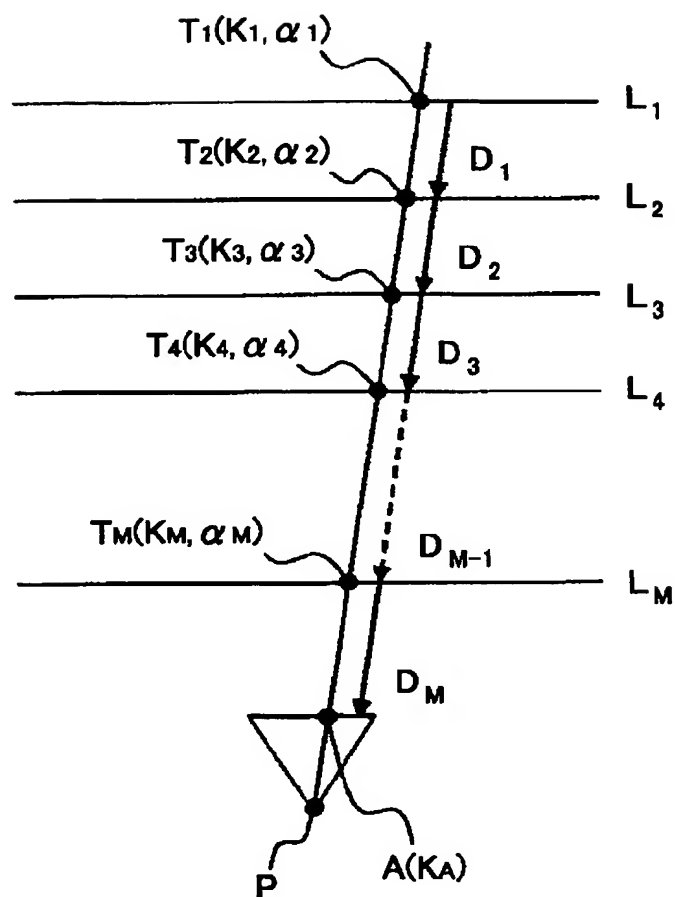
$$\beta_1 \cong 0, \quad \beta_2 \cong 1$$

$$\beta'_1 \cong 1, \quad \beta'_2 \cong 0$$

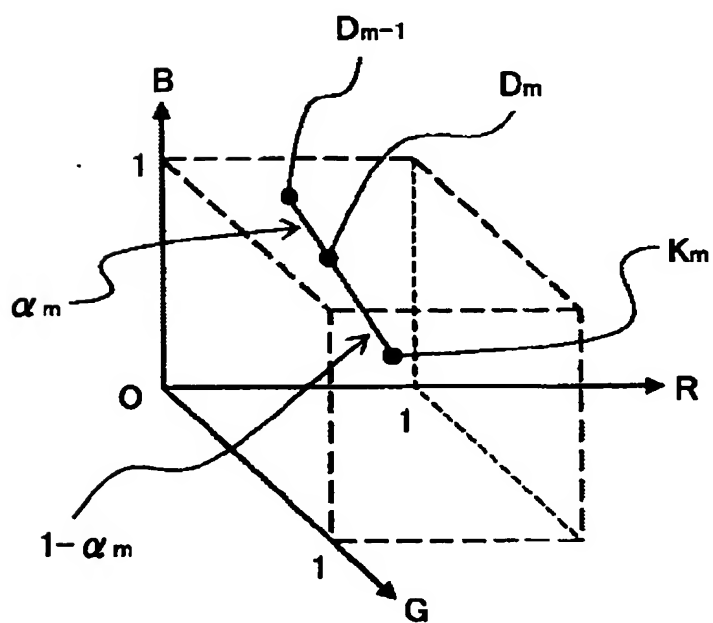
$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta_2 K_2 \doteq K'_1 + K_2$$

[図51]

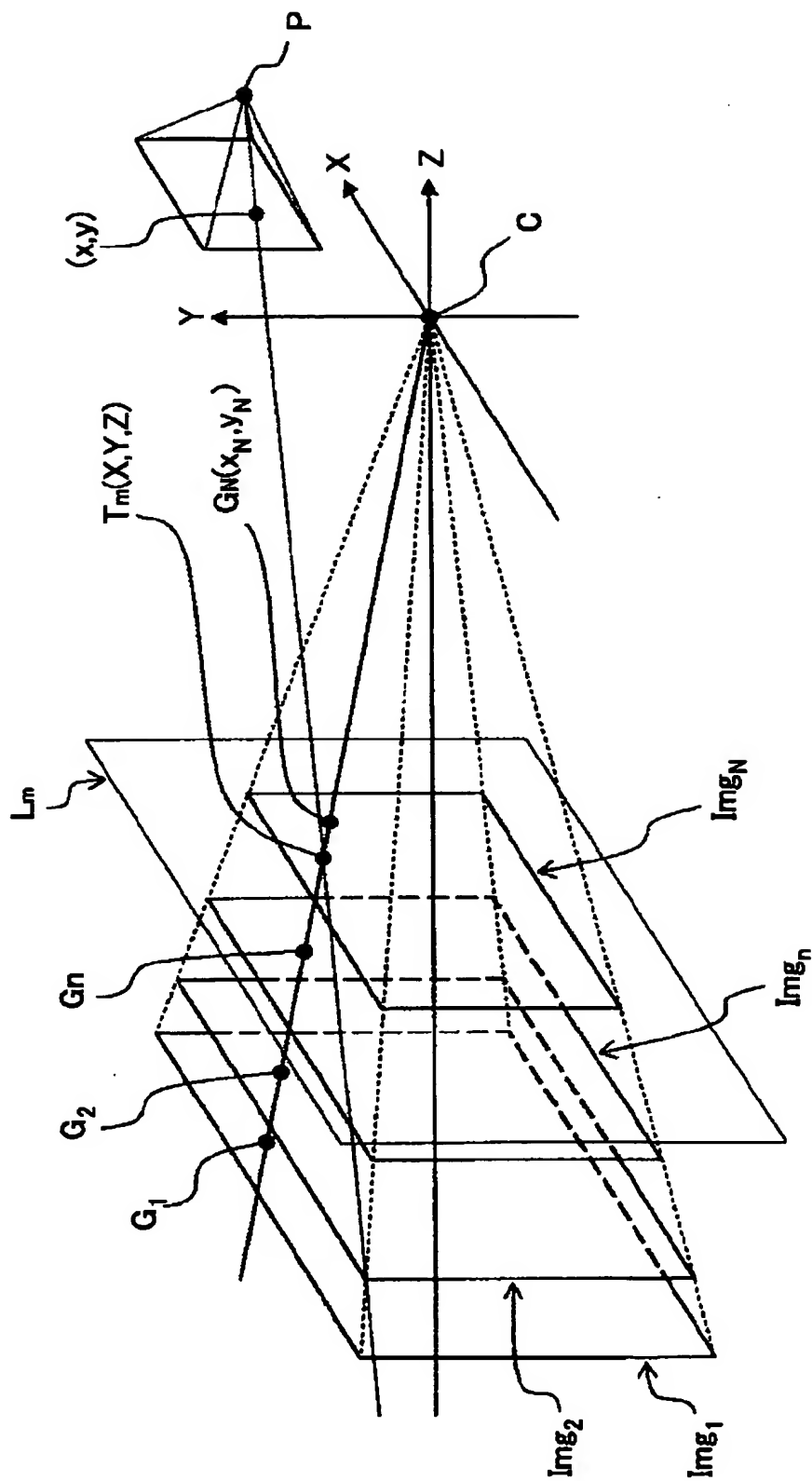
(a)



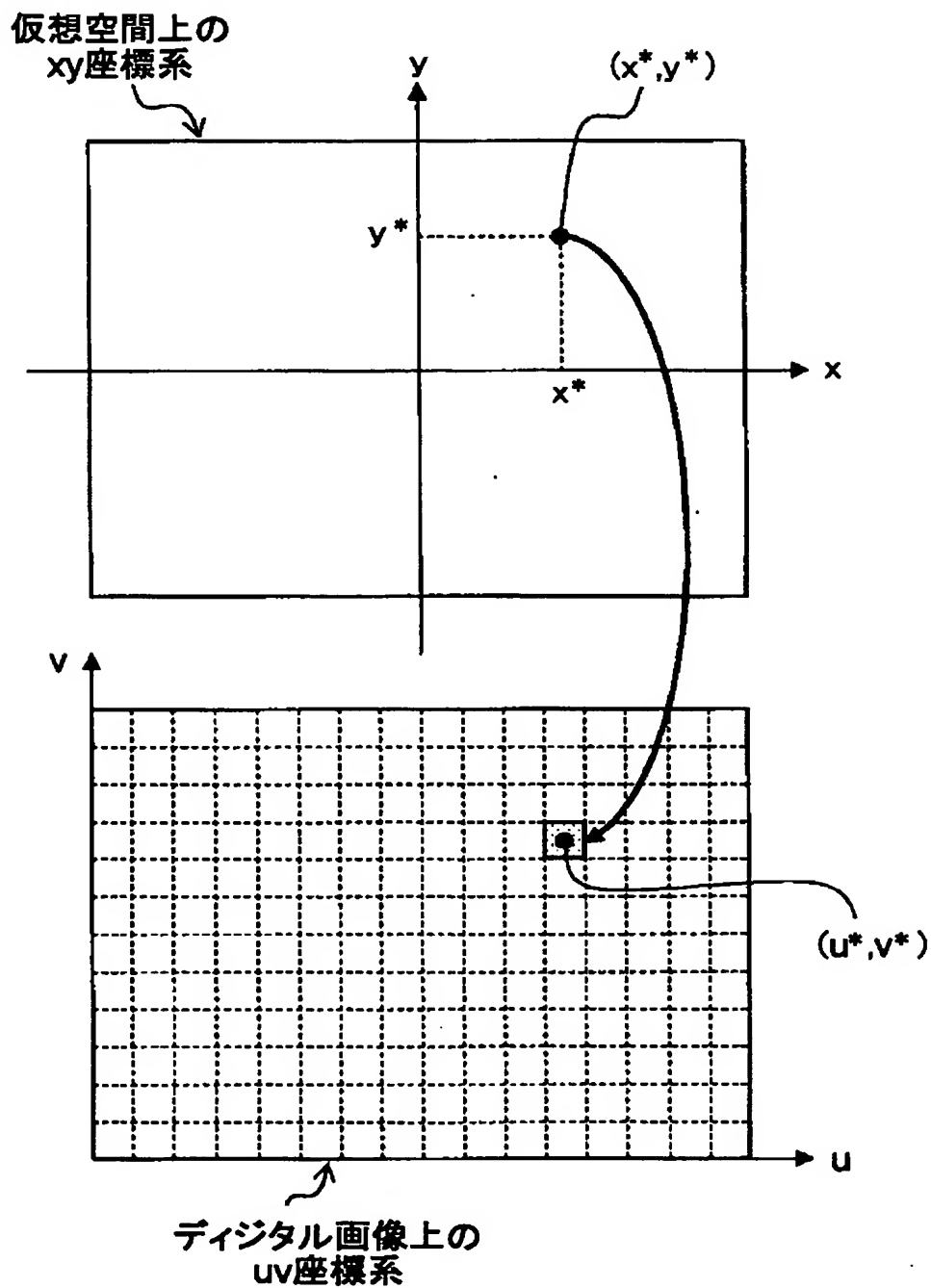
(b)



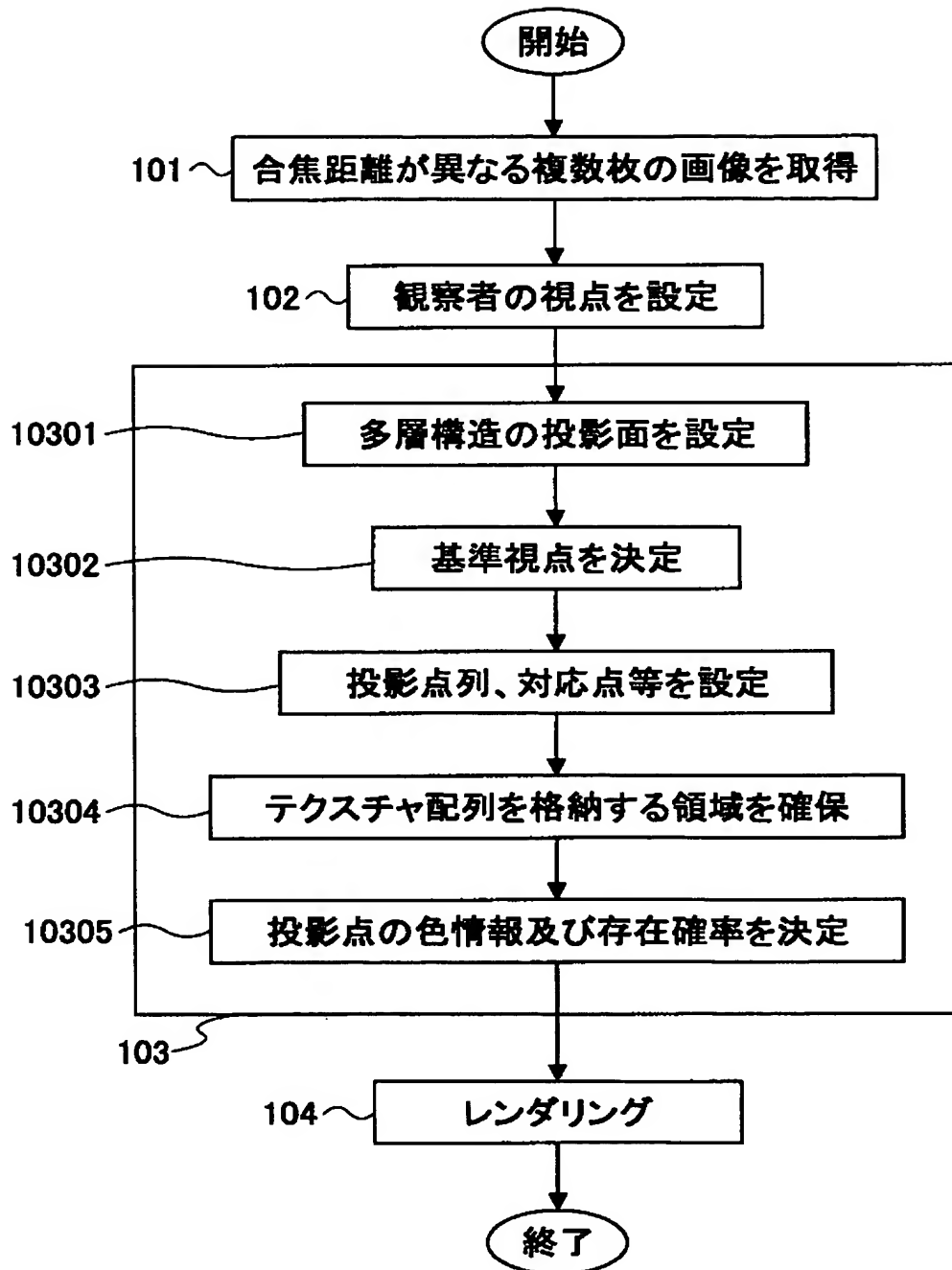
[図52]



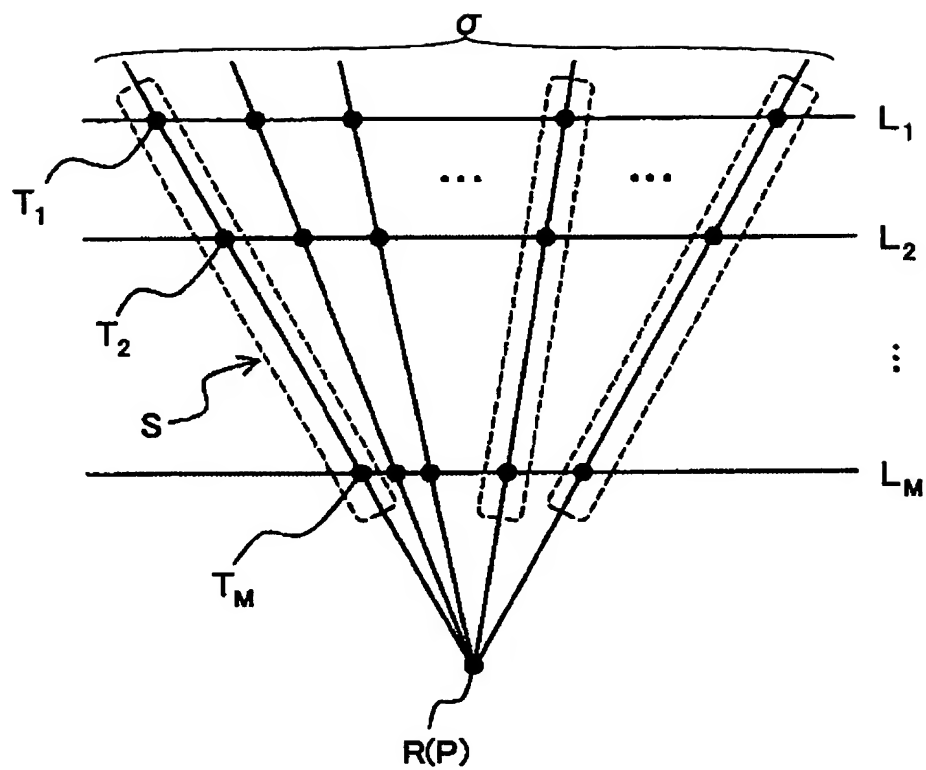
[図53]



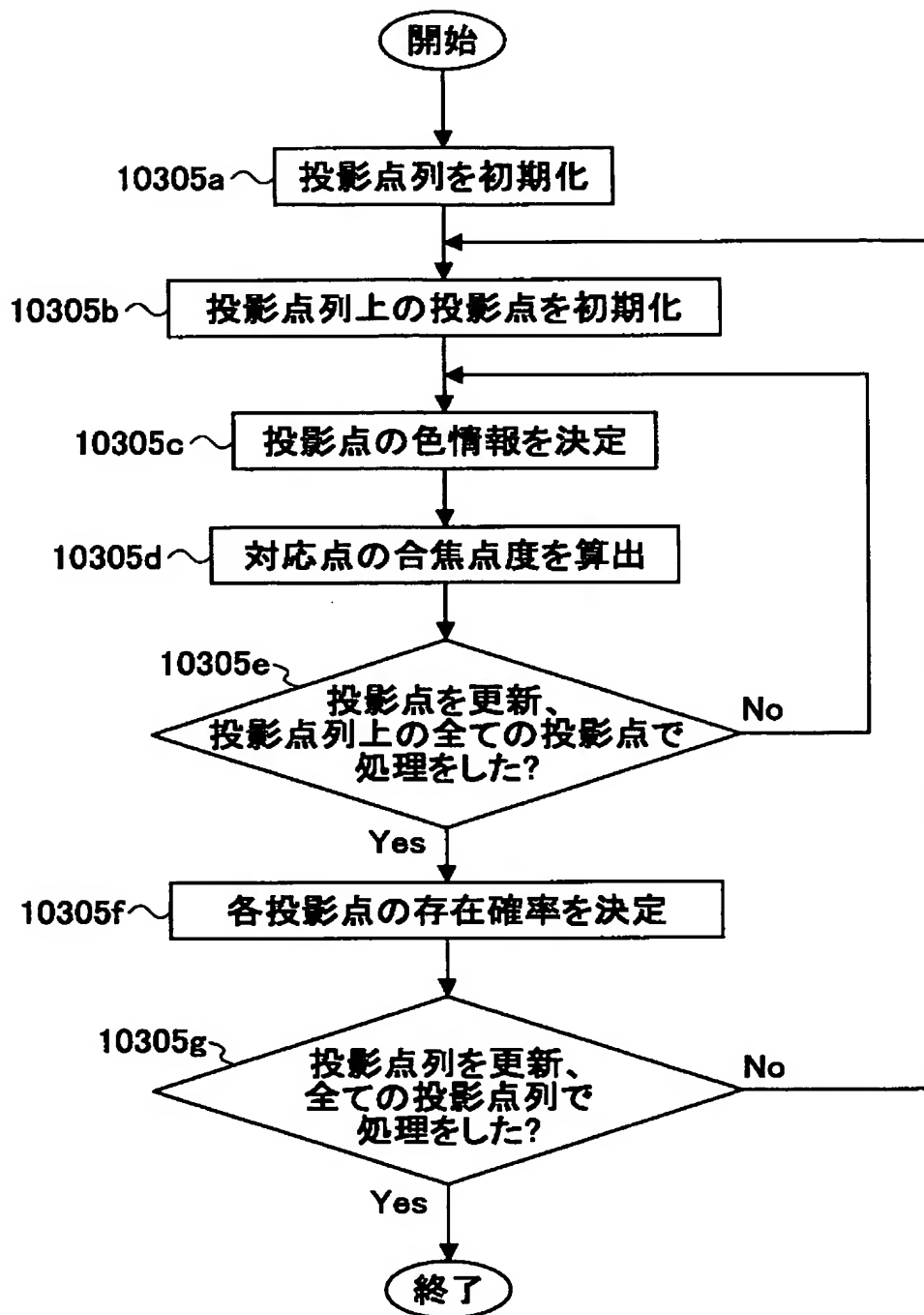
[図54]



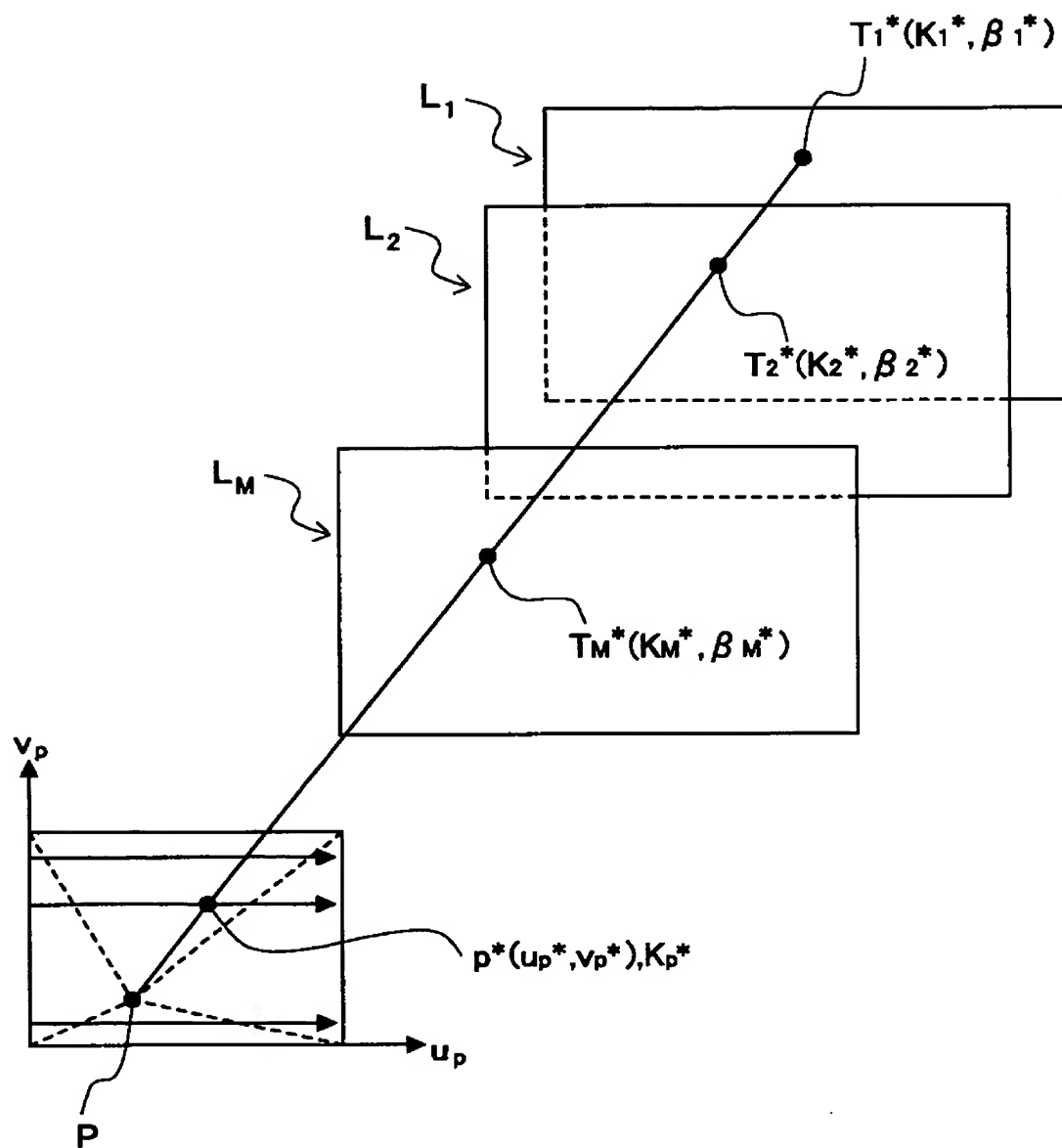
[図55]



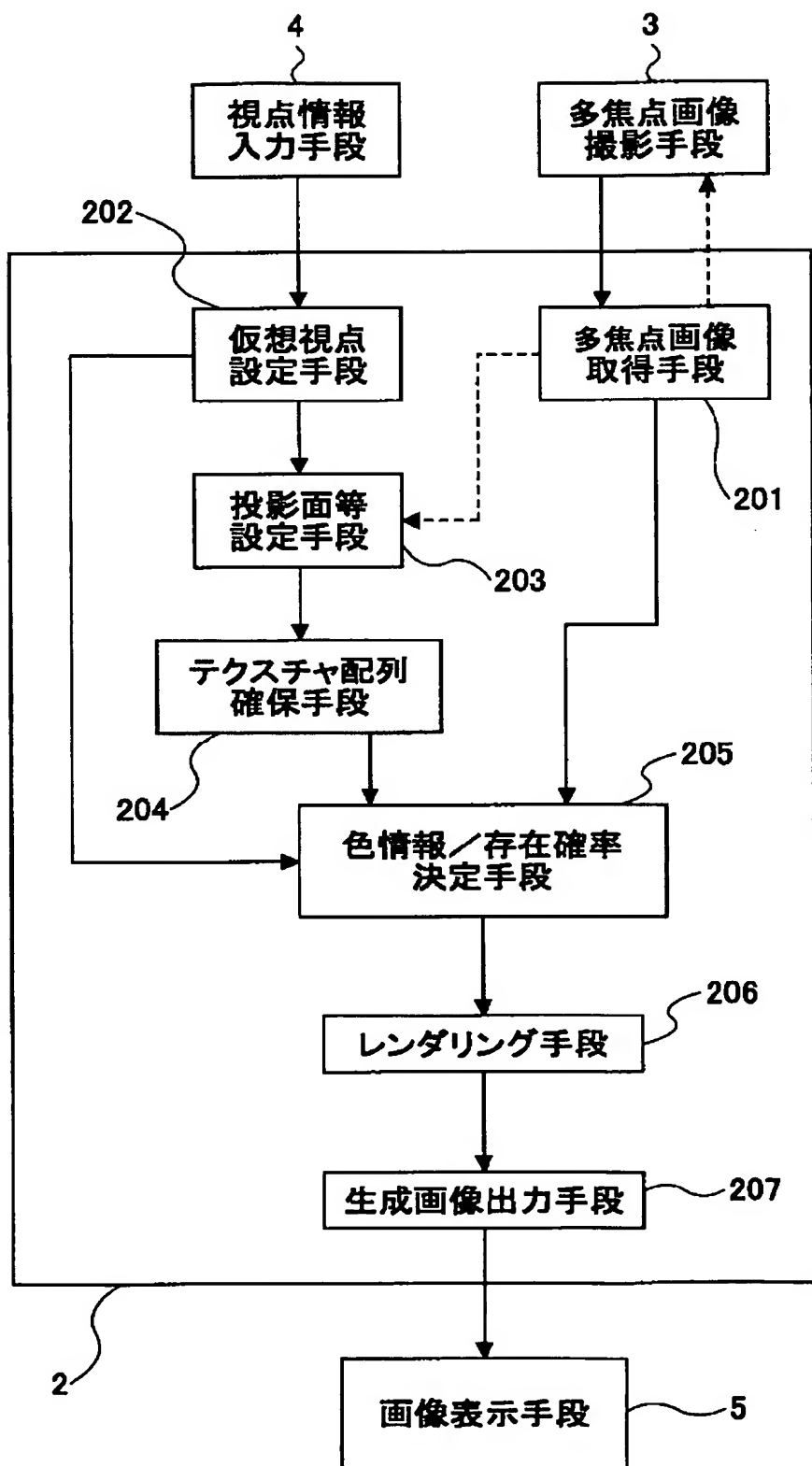
[図56]



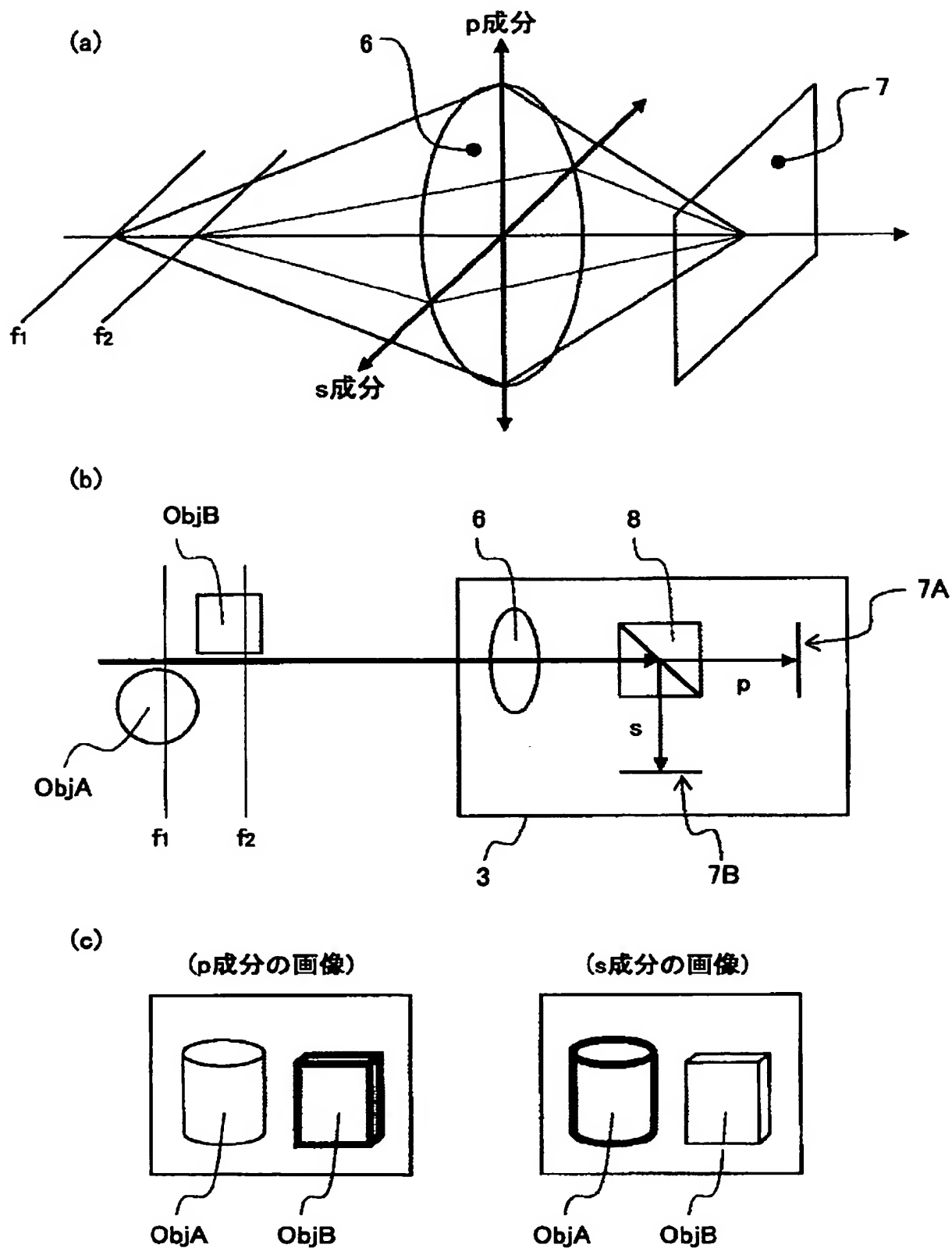
[図57]



[図58]

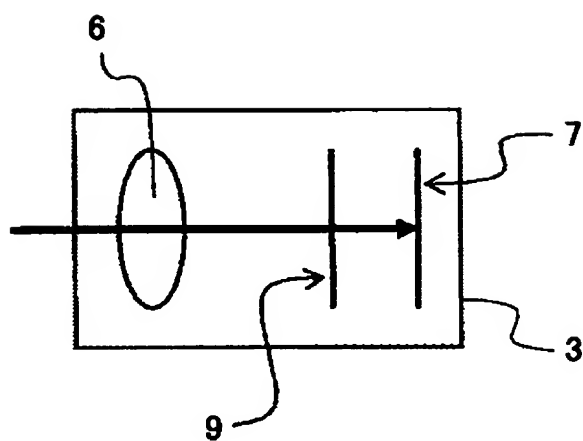


[図59]

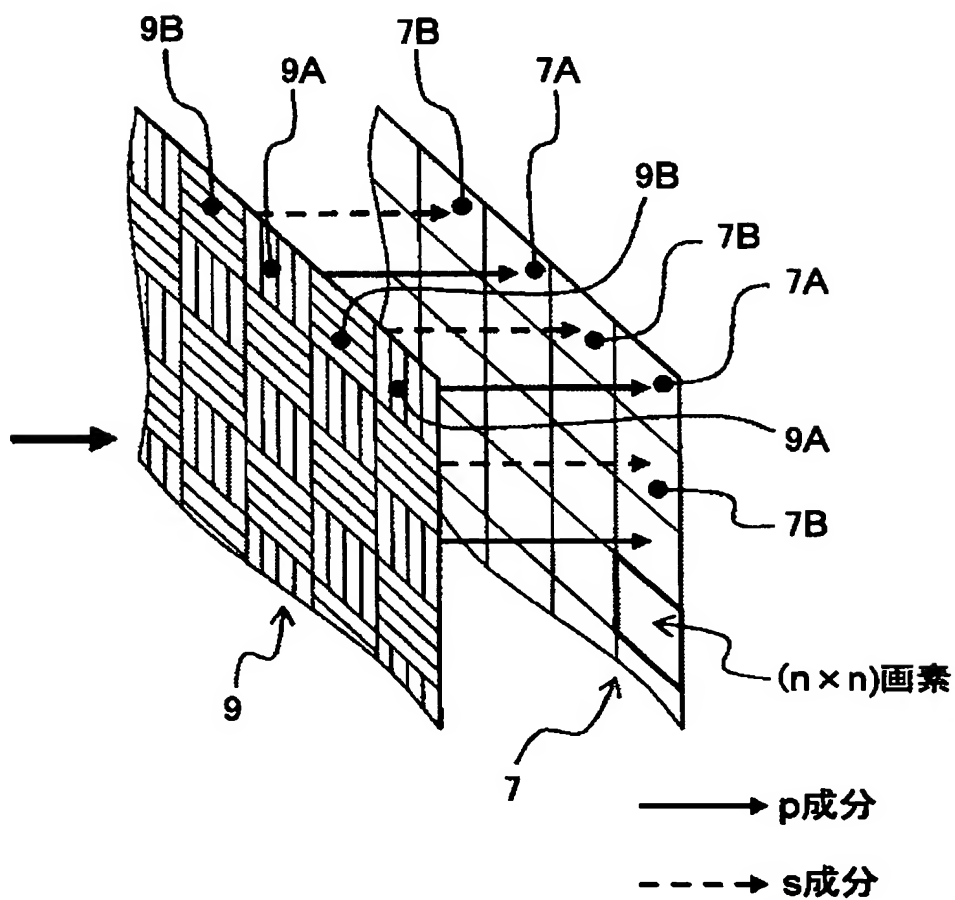


[図60]

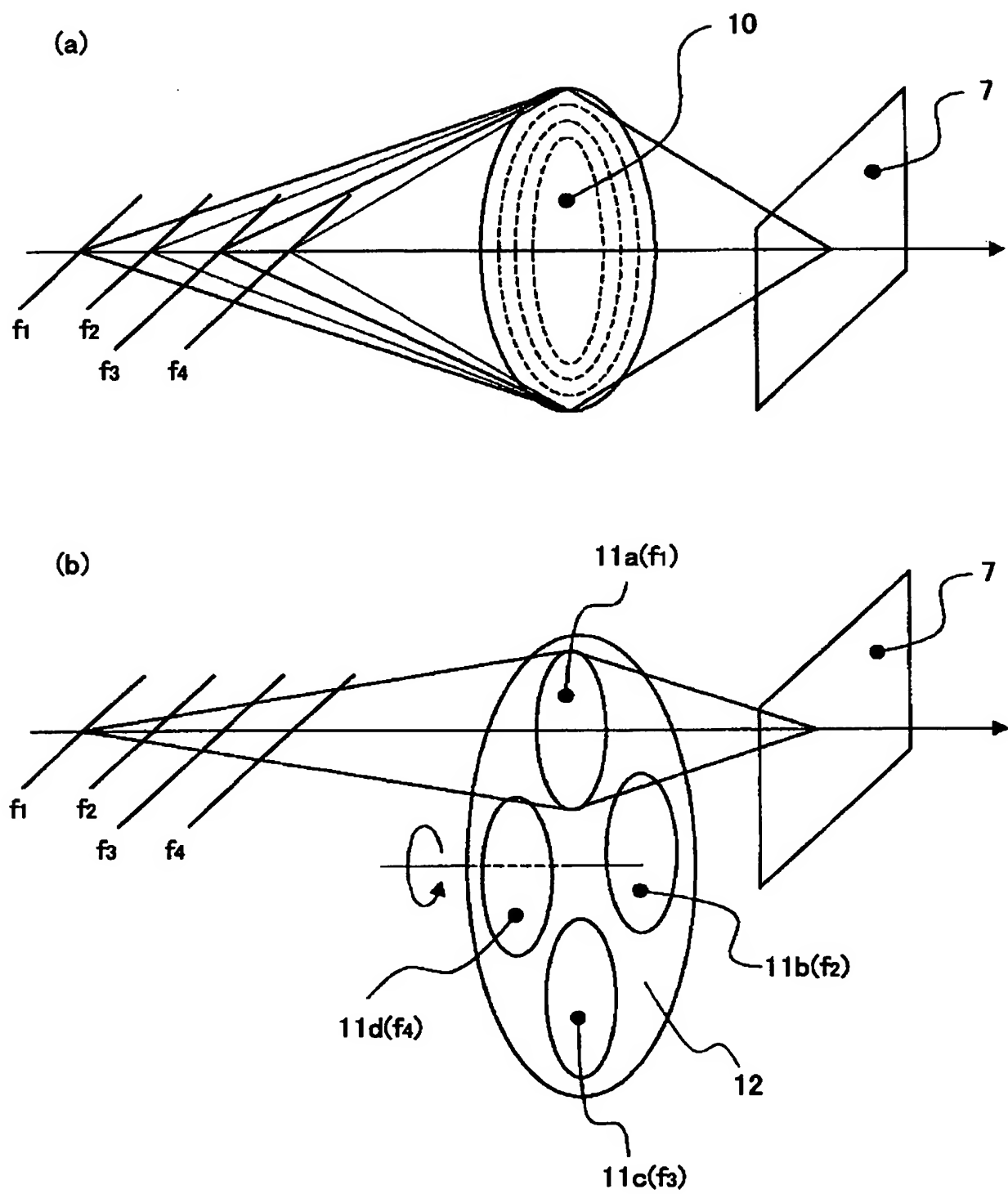
(a)



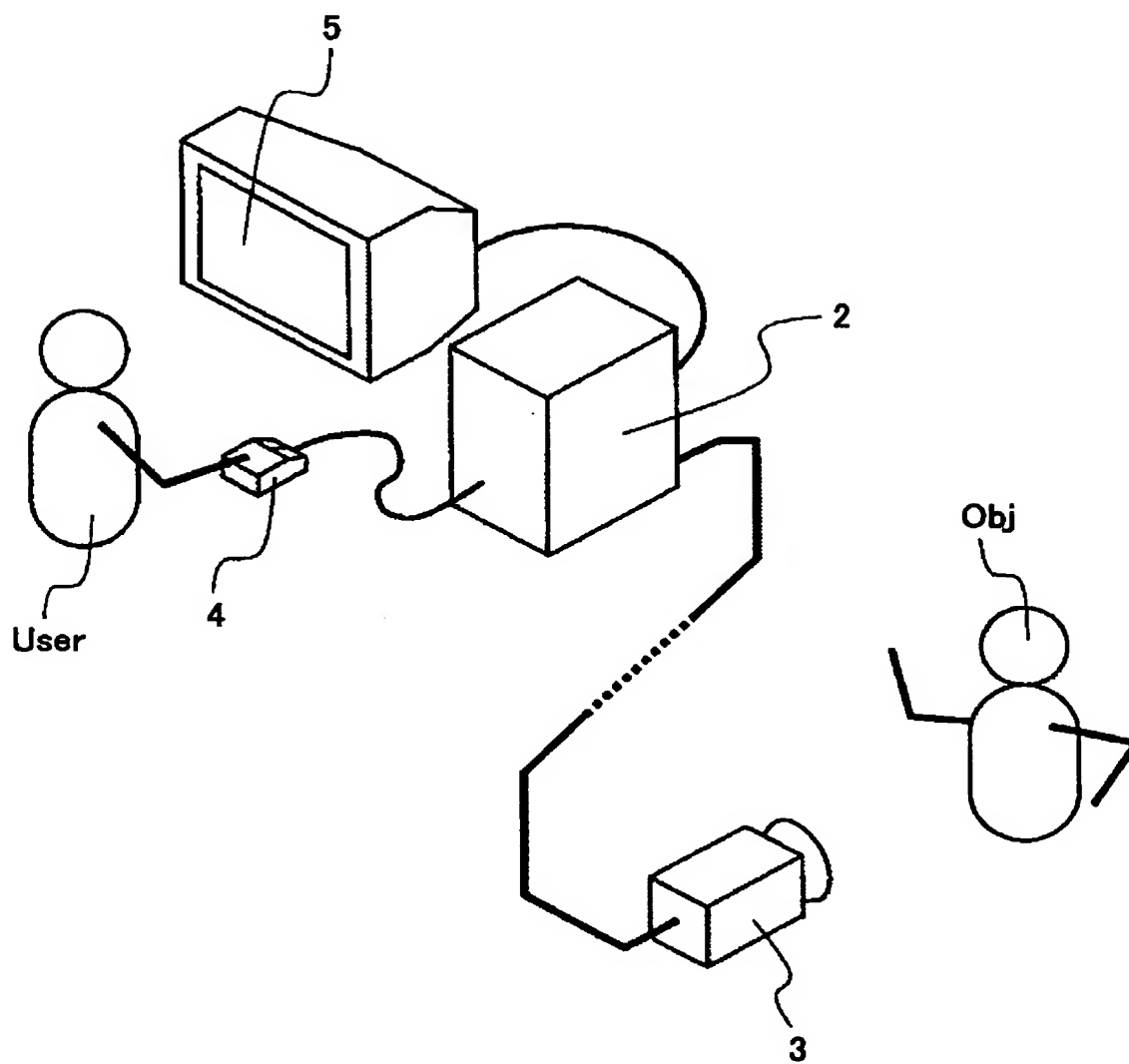
(b)



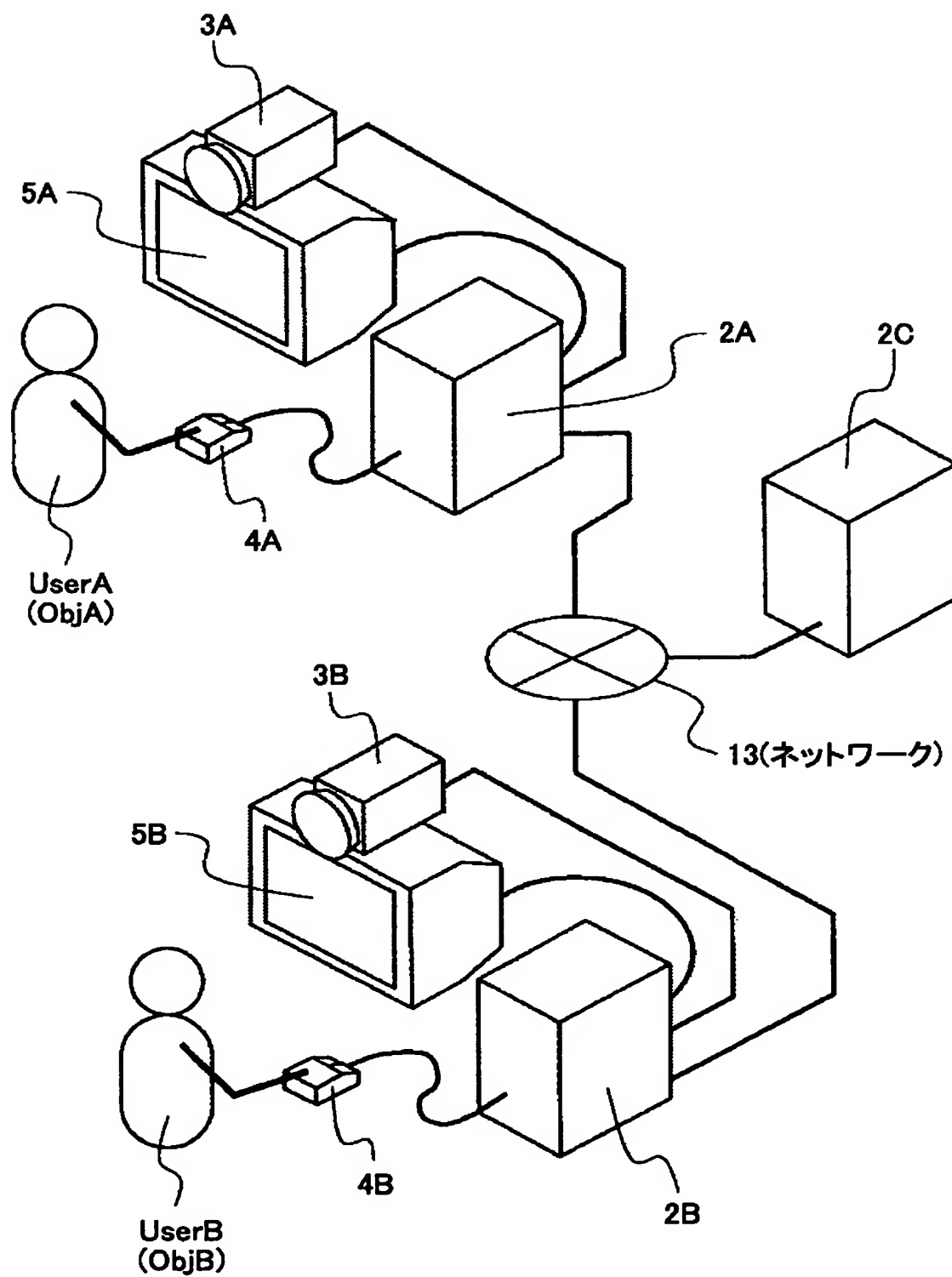
[図61]



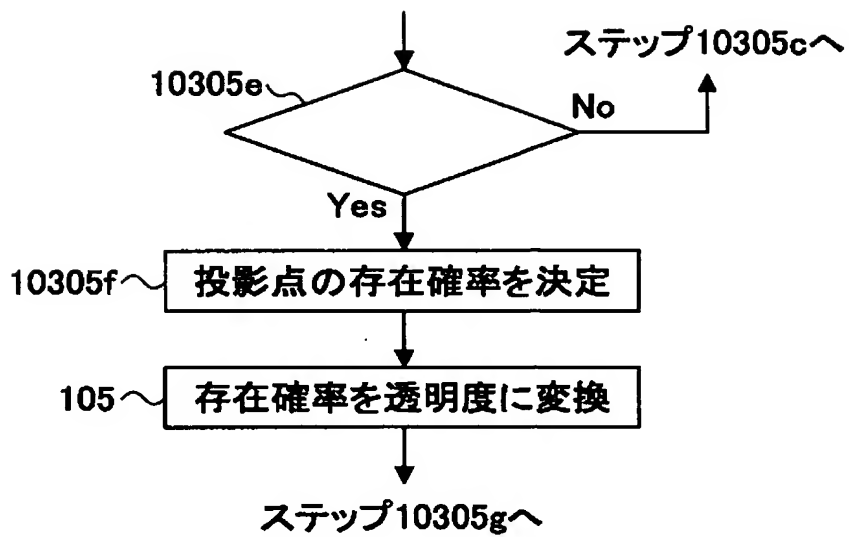
[図62]



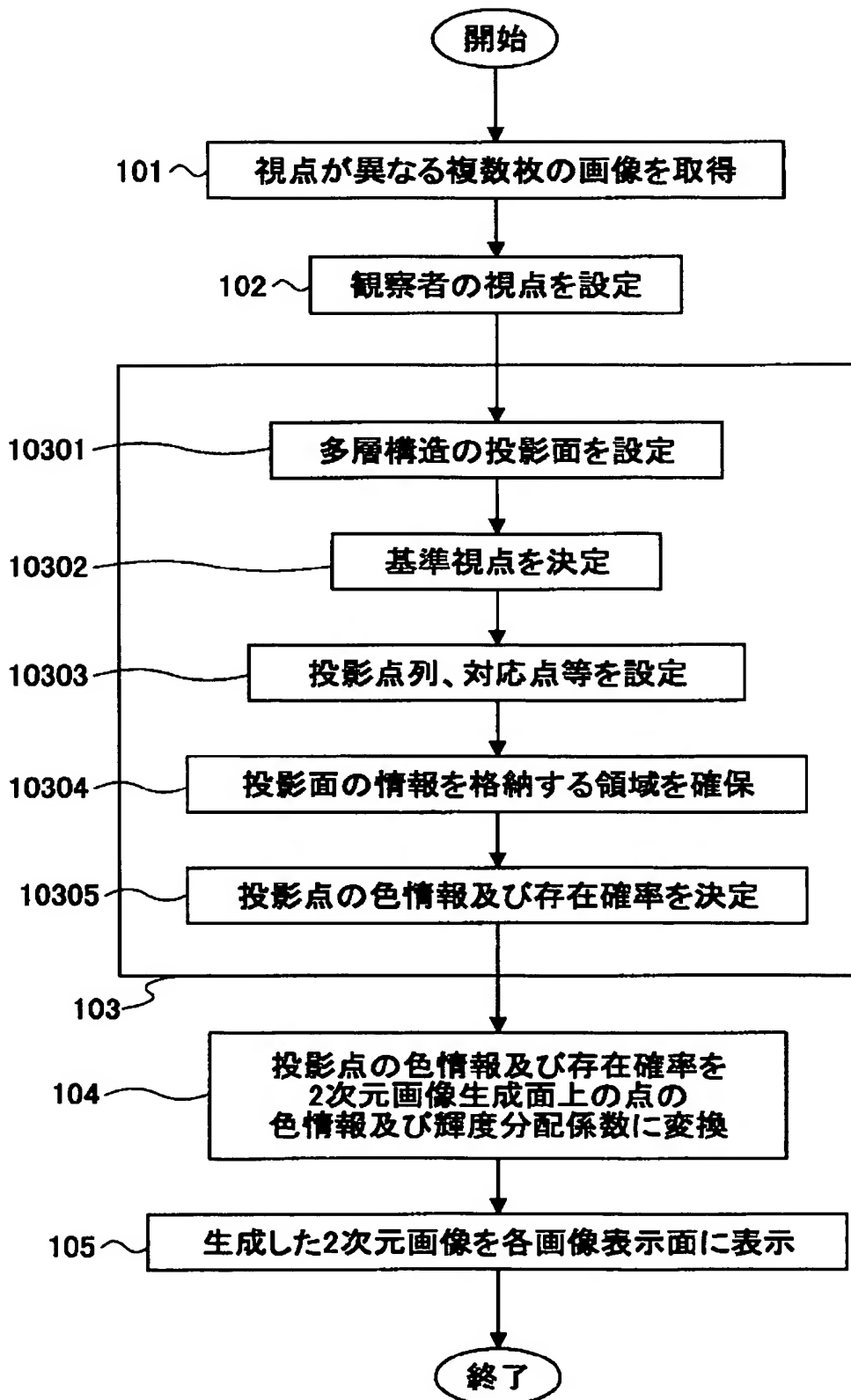
[図63]



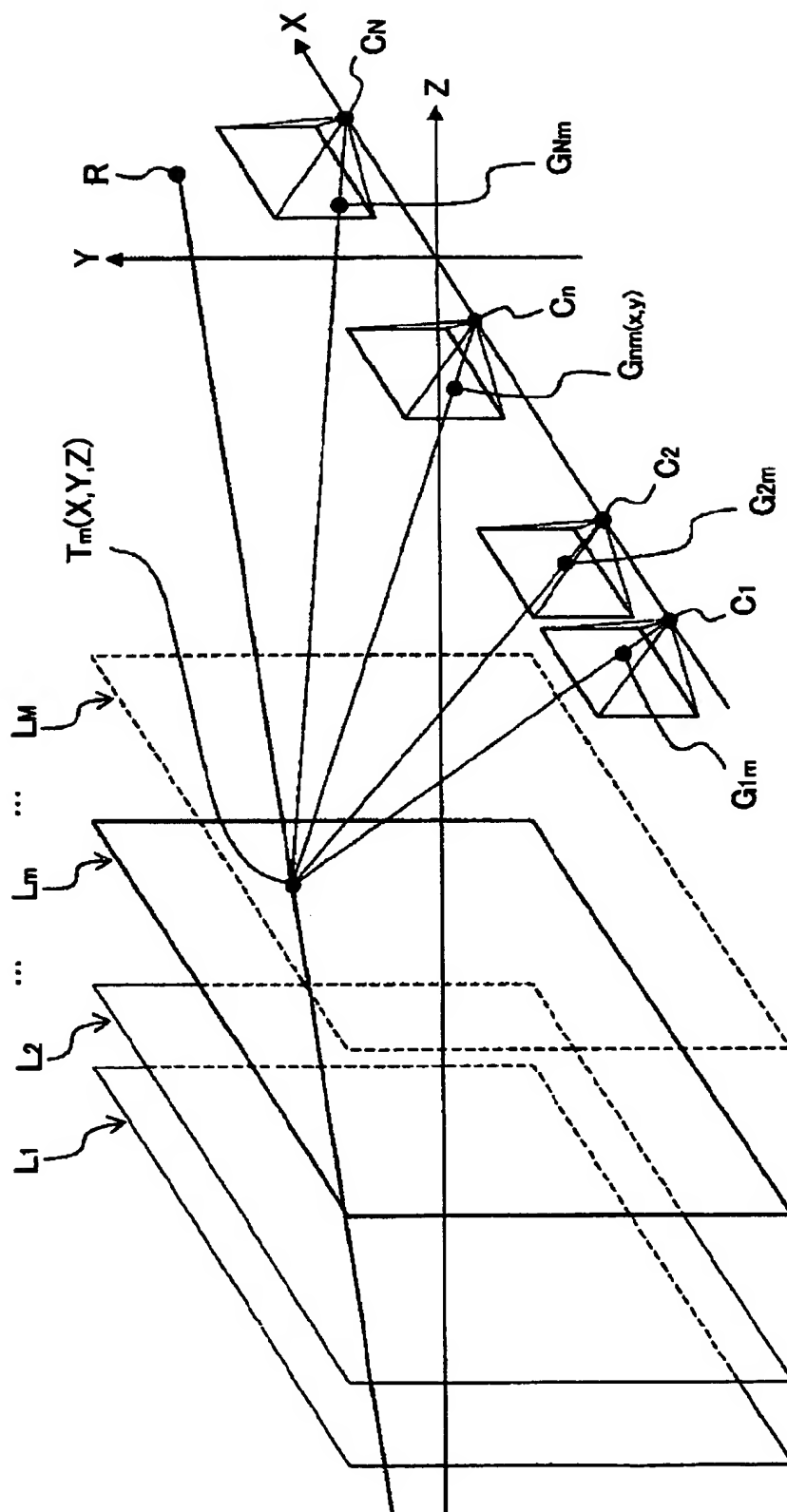
[図64]



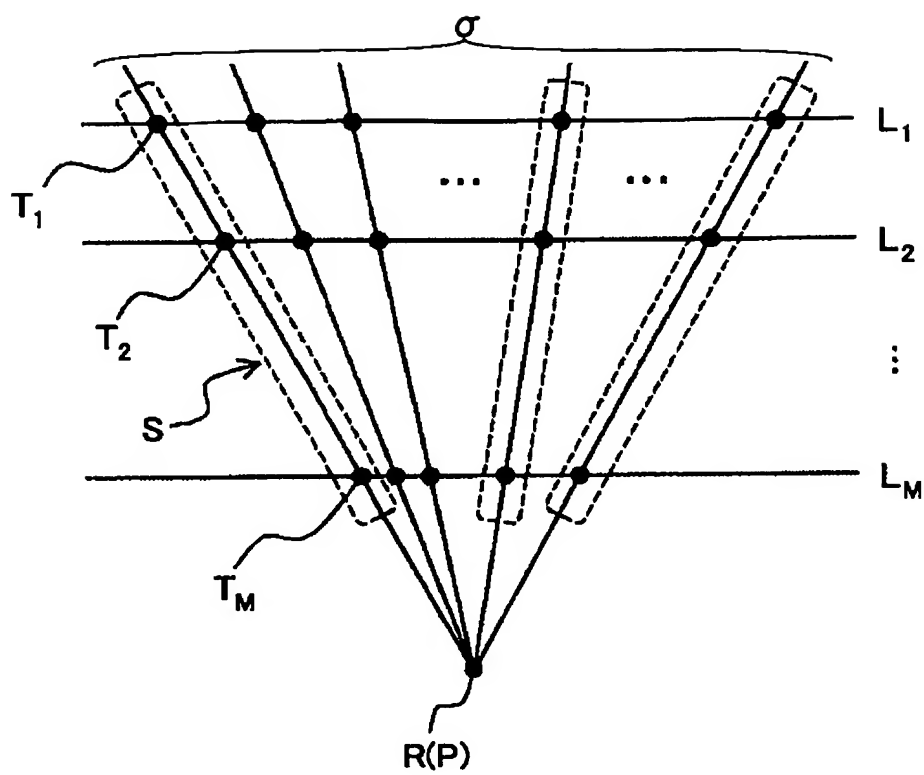
[図66]



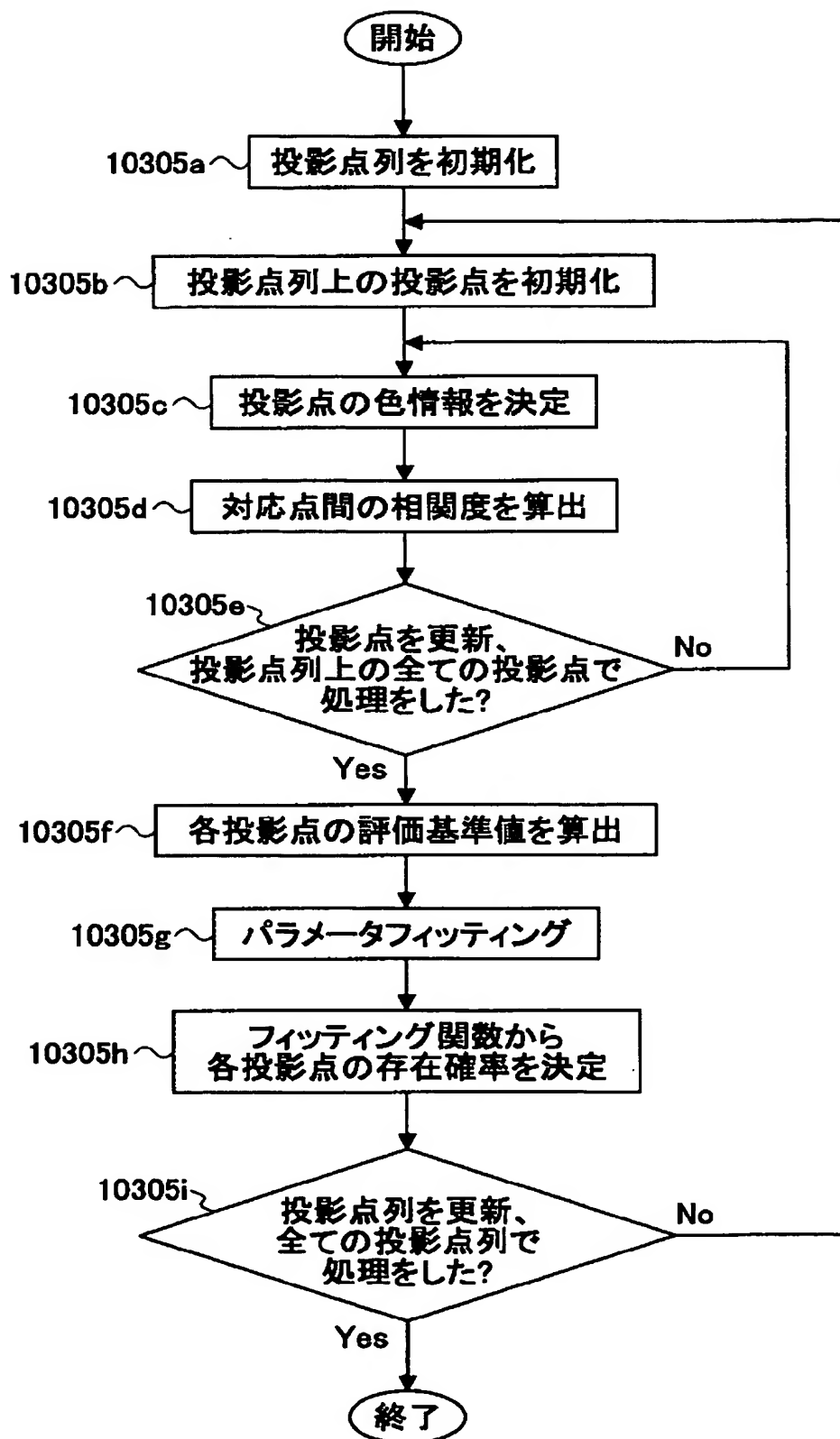
[図67]



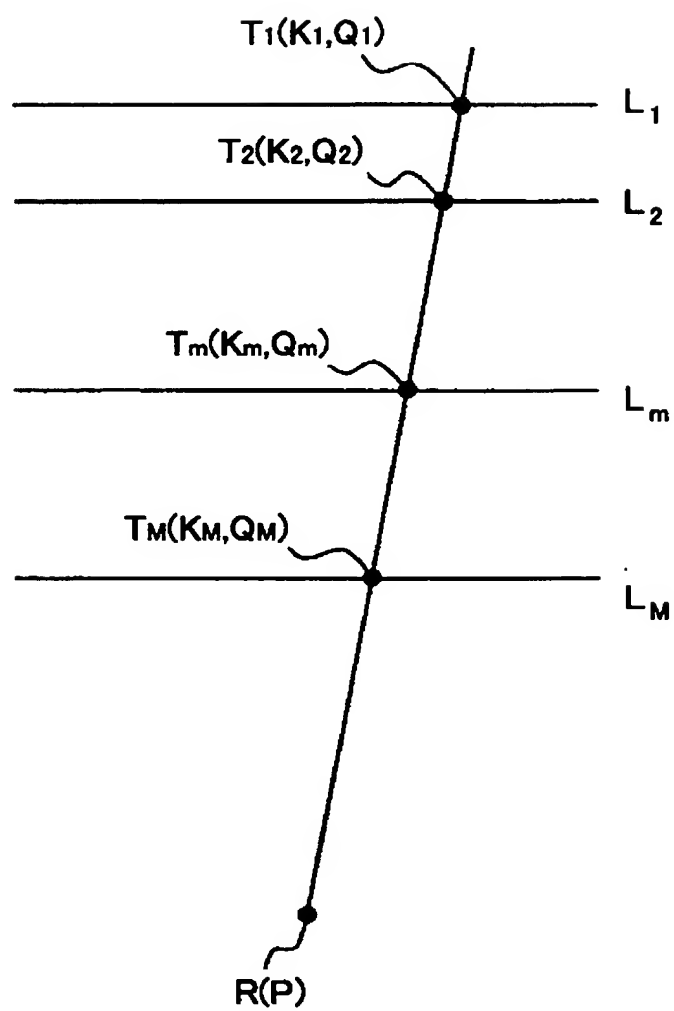
[図69]



[図70]



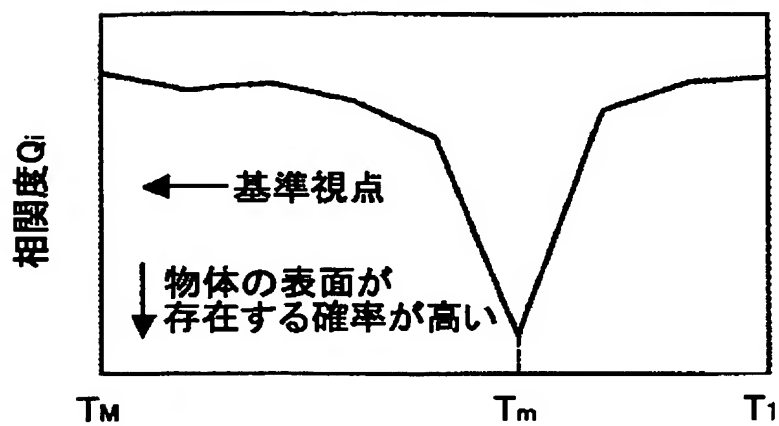
[図71]



[図72]

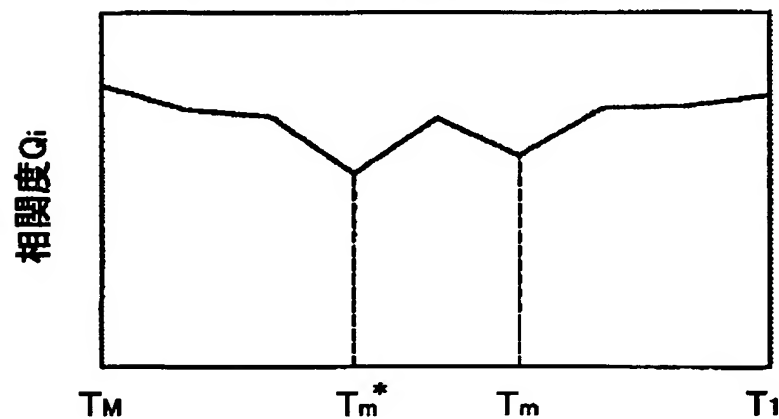
(a)

(推定した距離の信頼性が高い例)

基準視点から見て重なり合う投影点 T_j

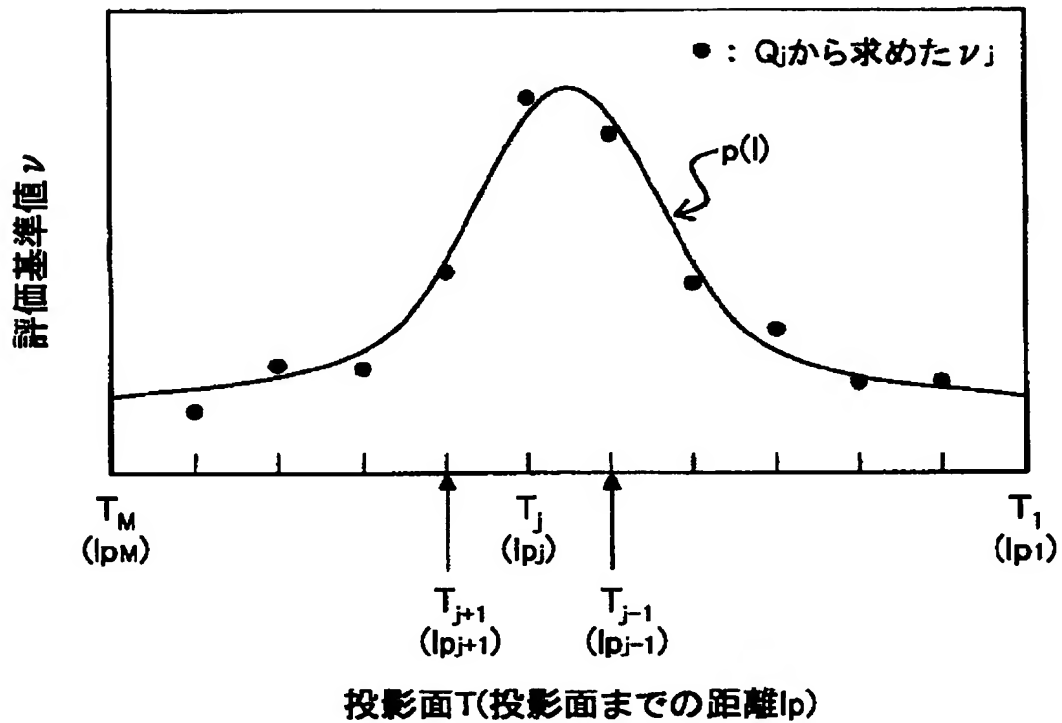
(b)

(推定した距離の信頼性が低い例)

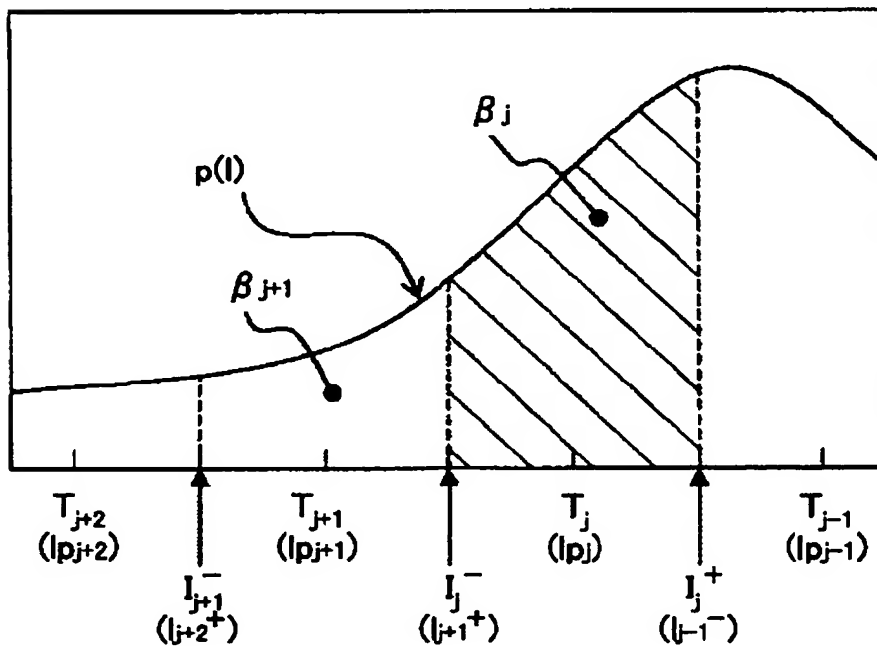
基準視点から見て重なり合う投影点 T_j

[図73]

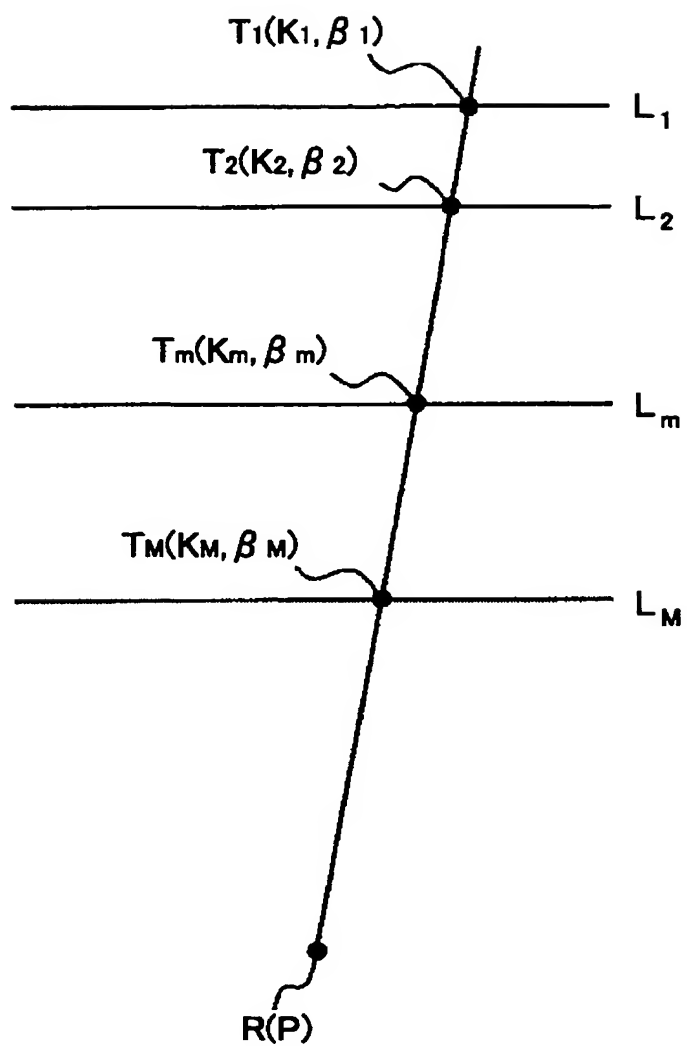
(a)



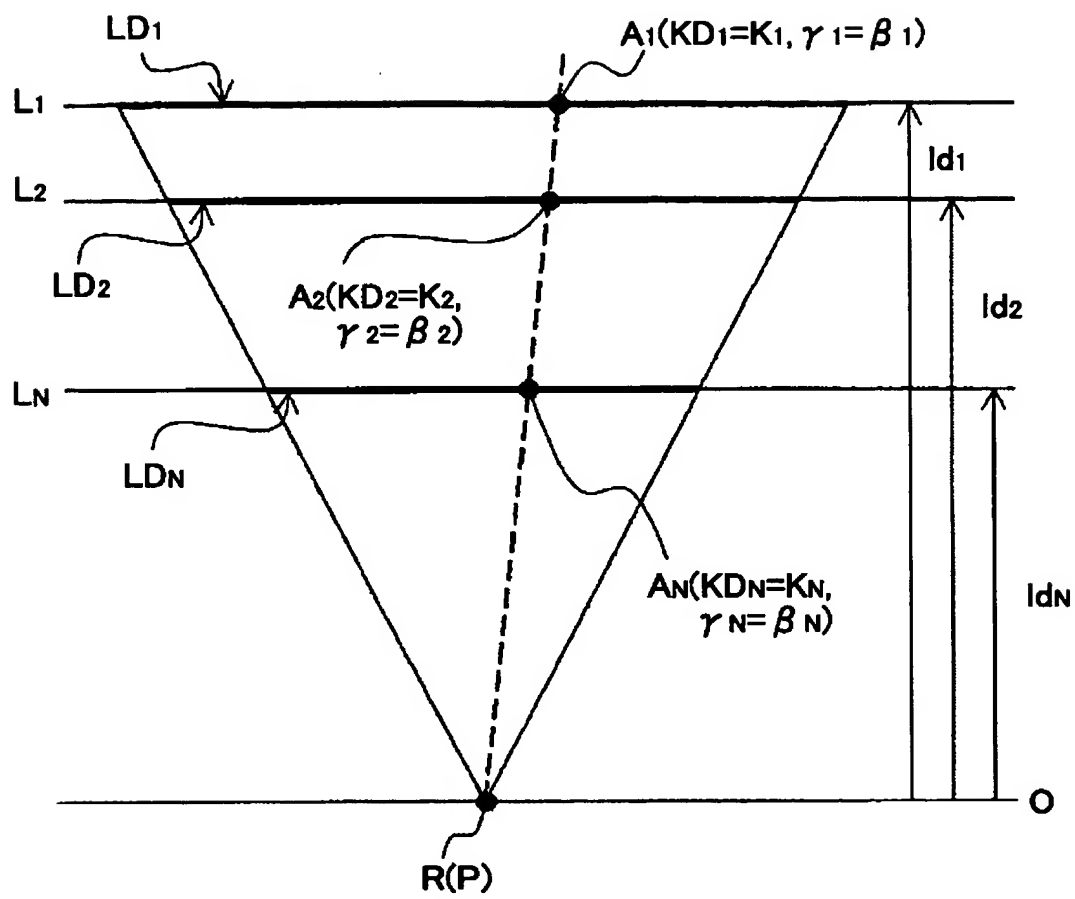
(b)



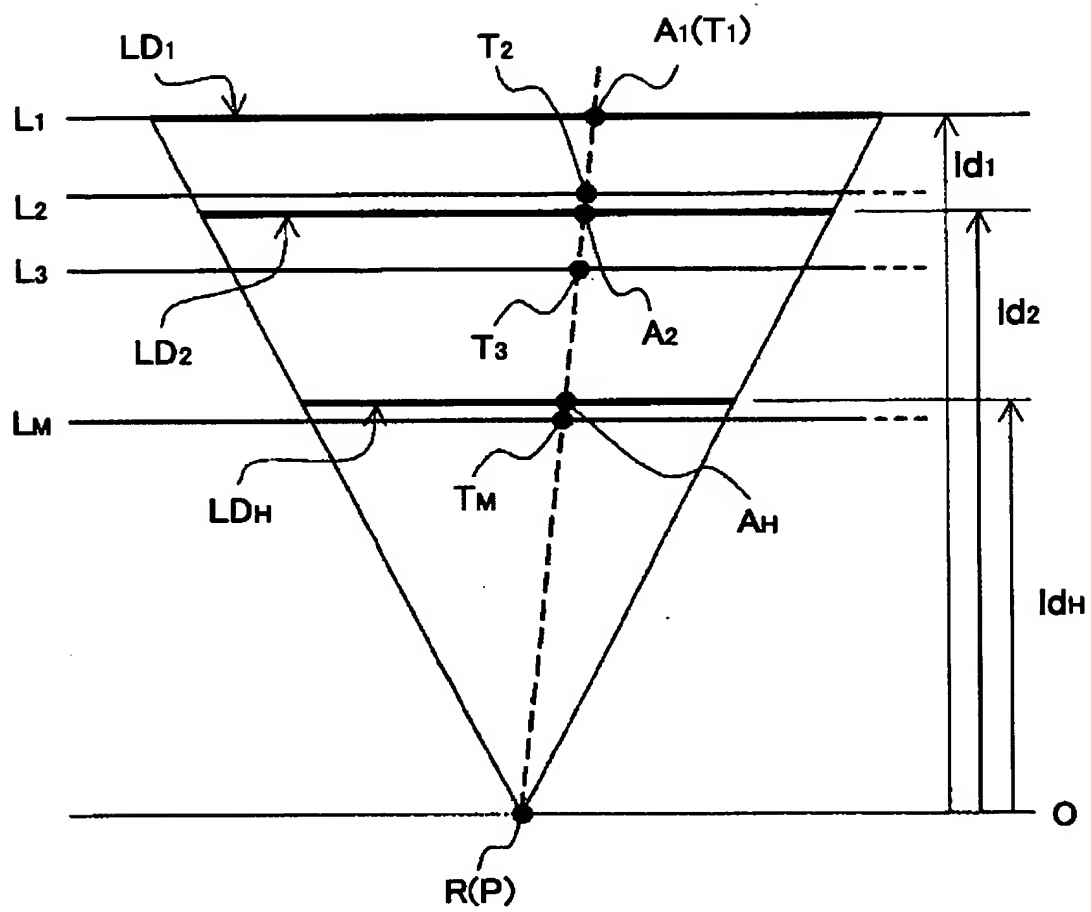
[図74]



[図75]

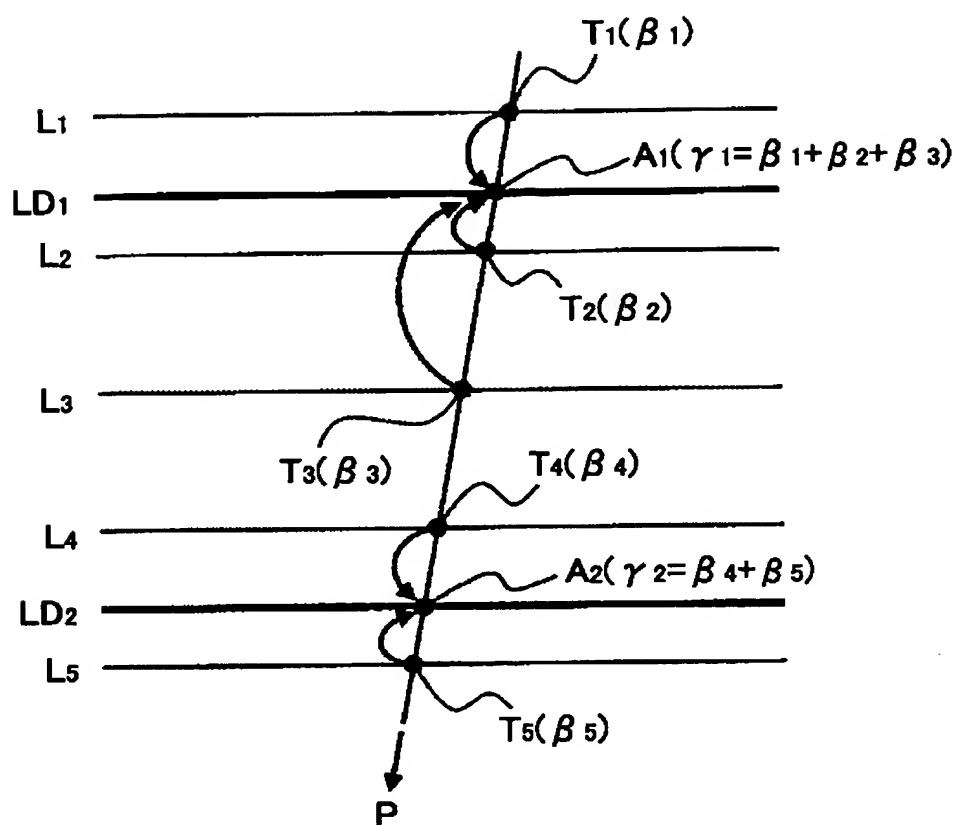


[図76]

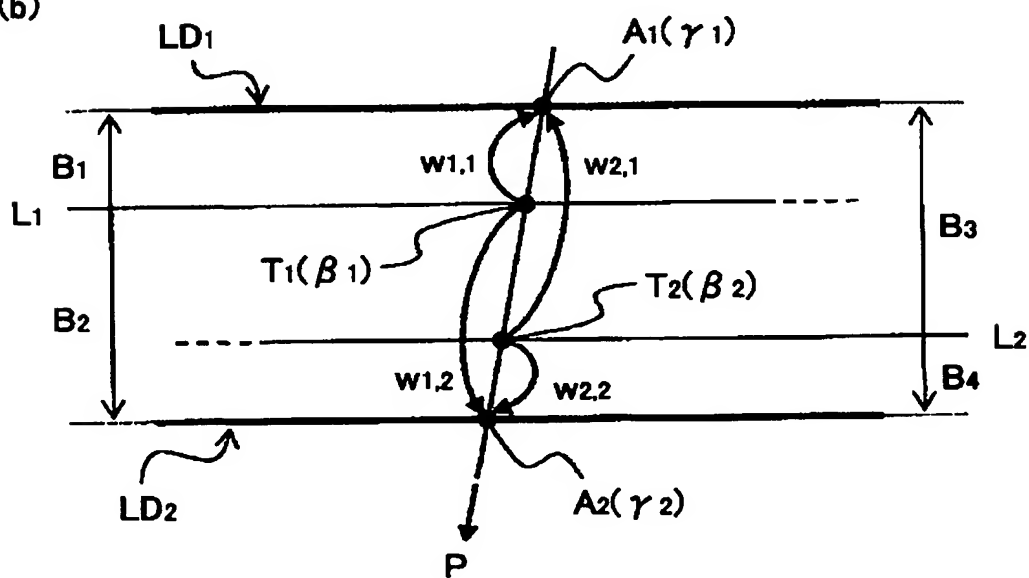


[図77]

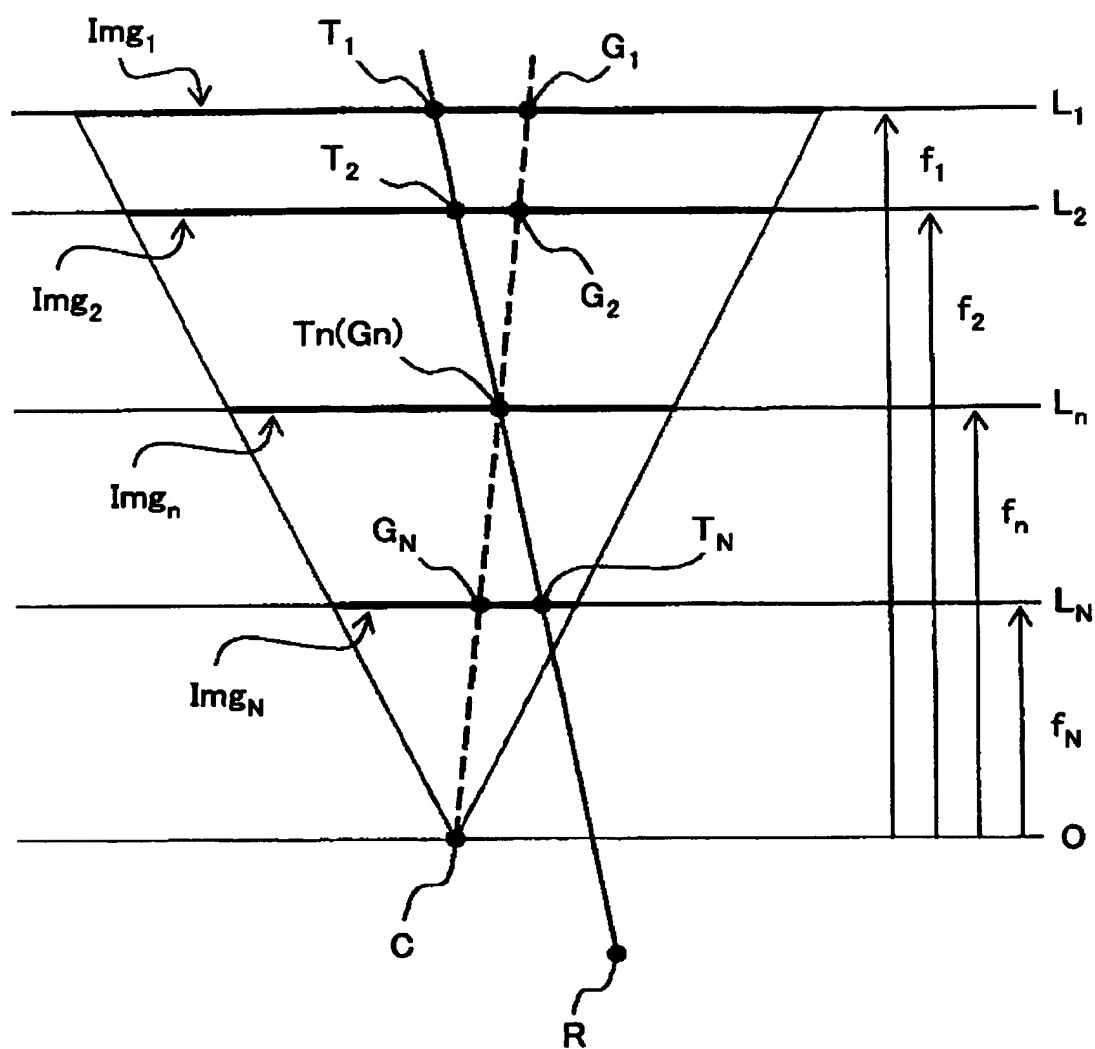
(a)



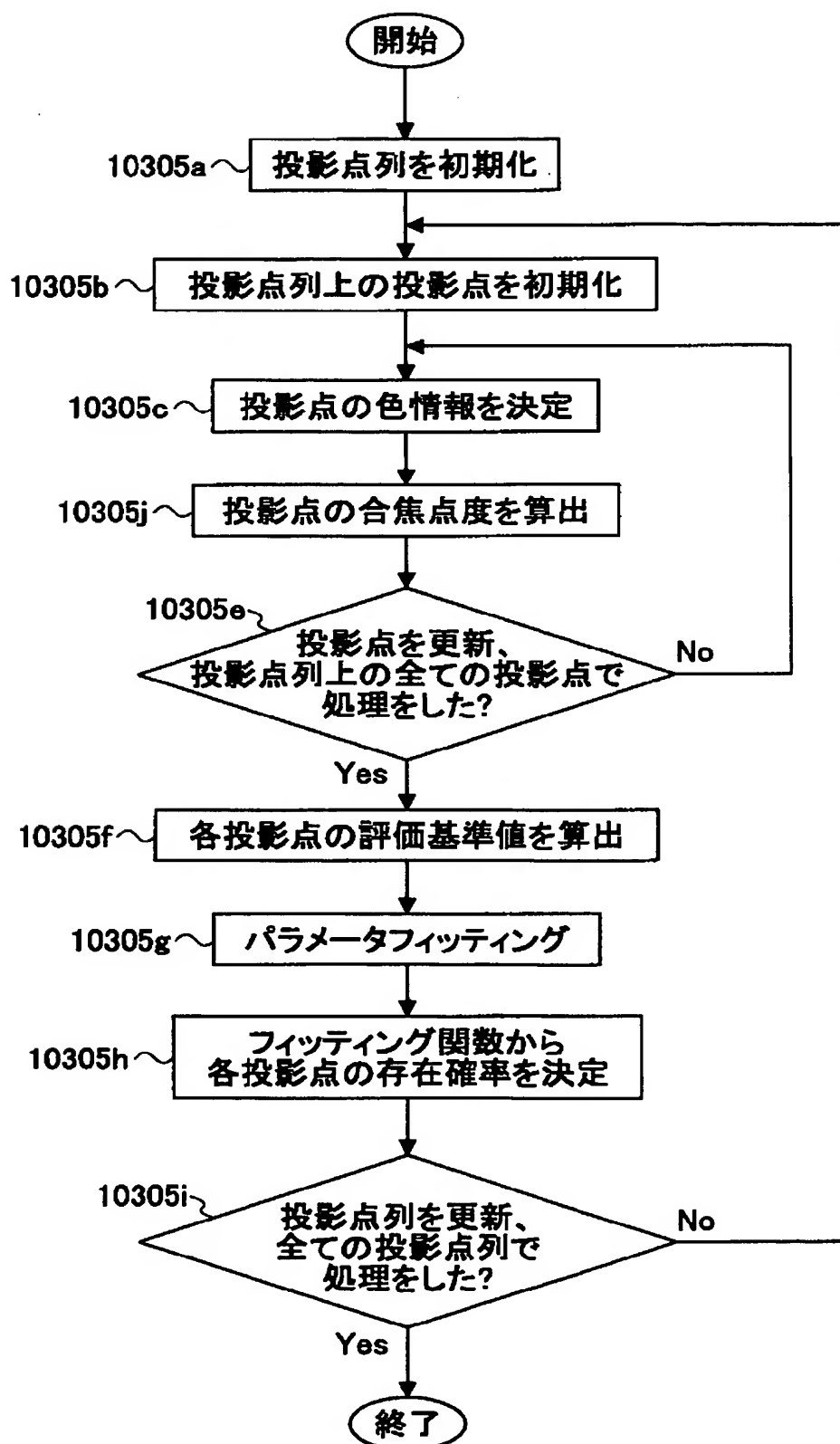
(b)



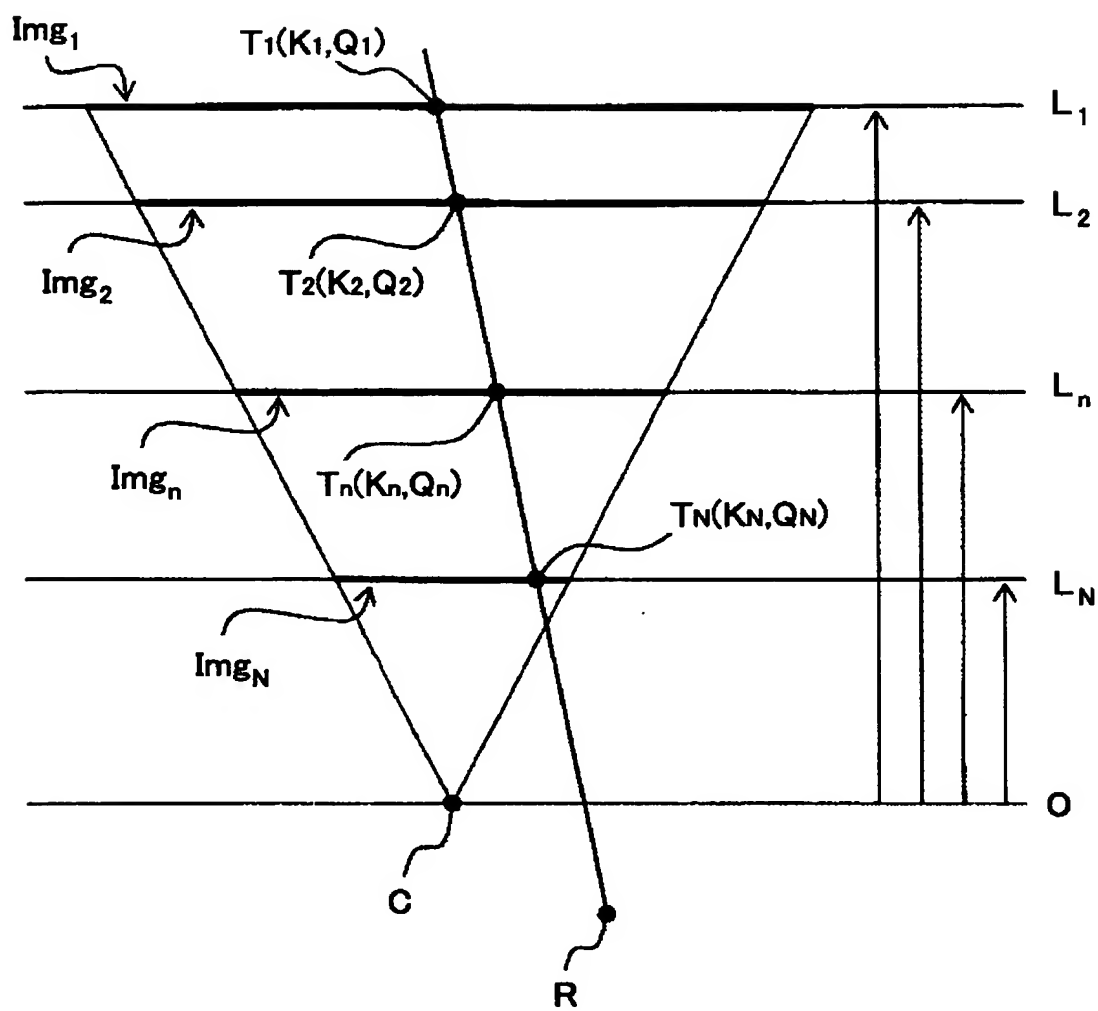
[図78]



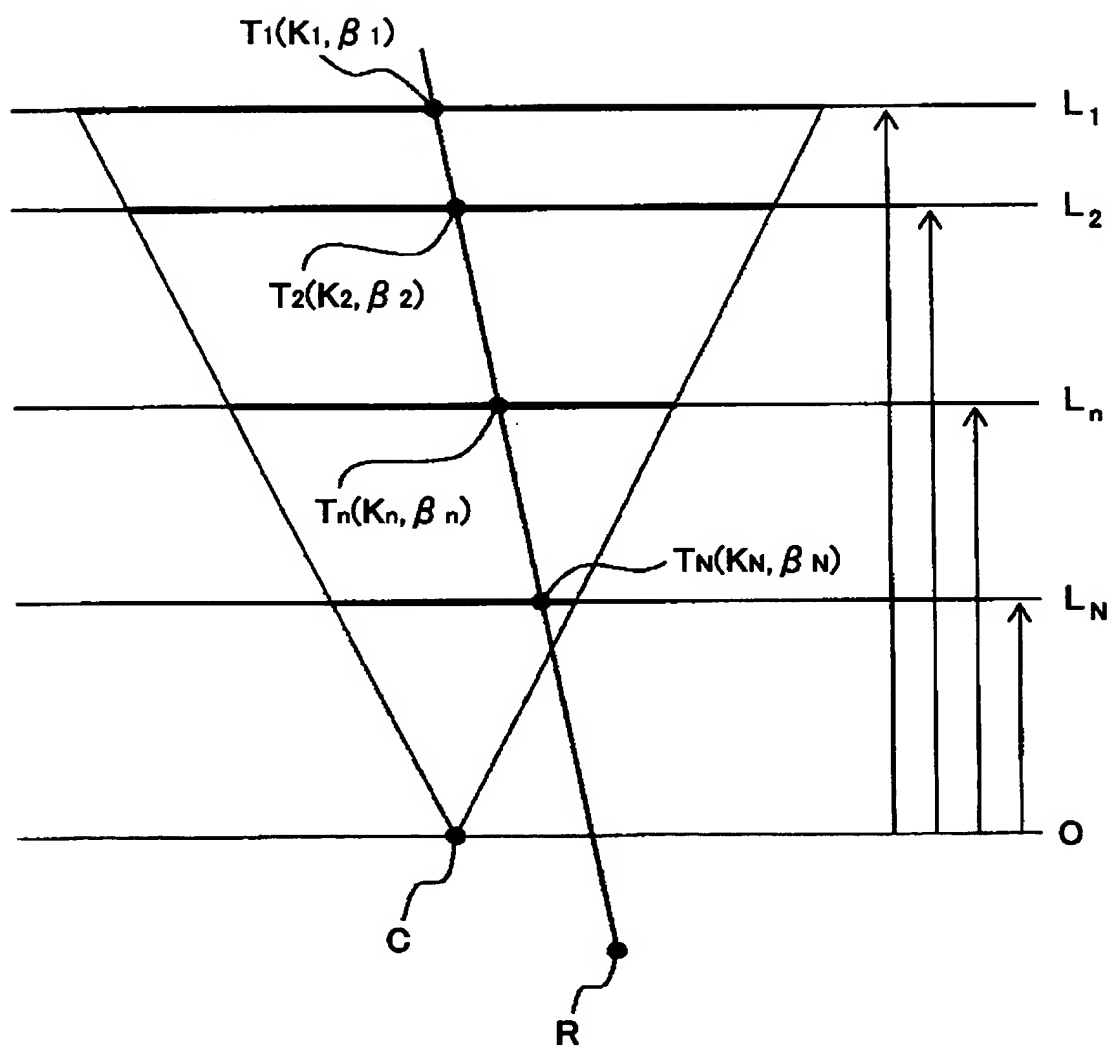
[図79]



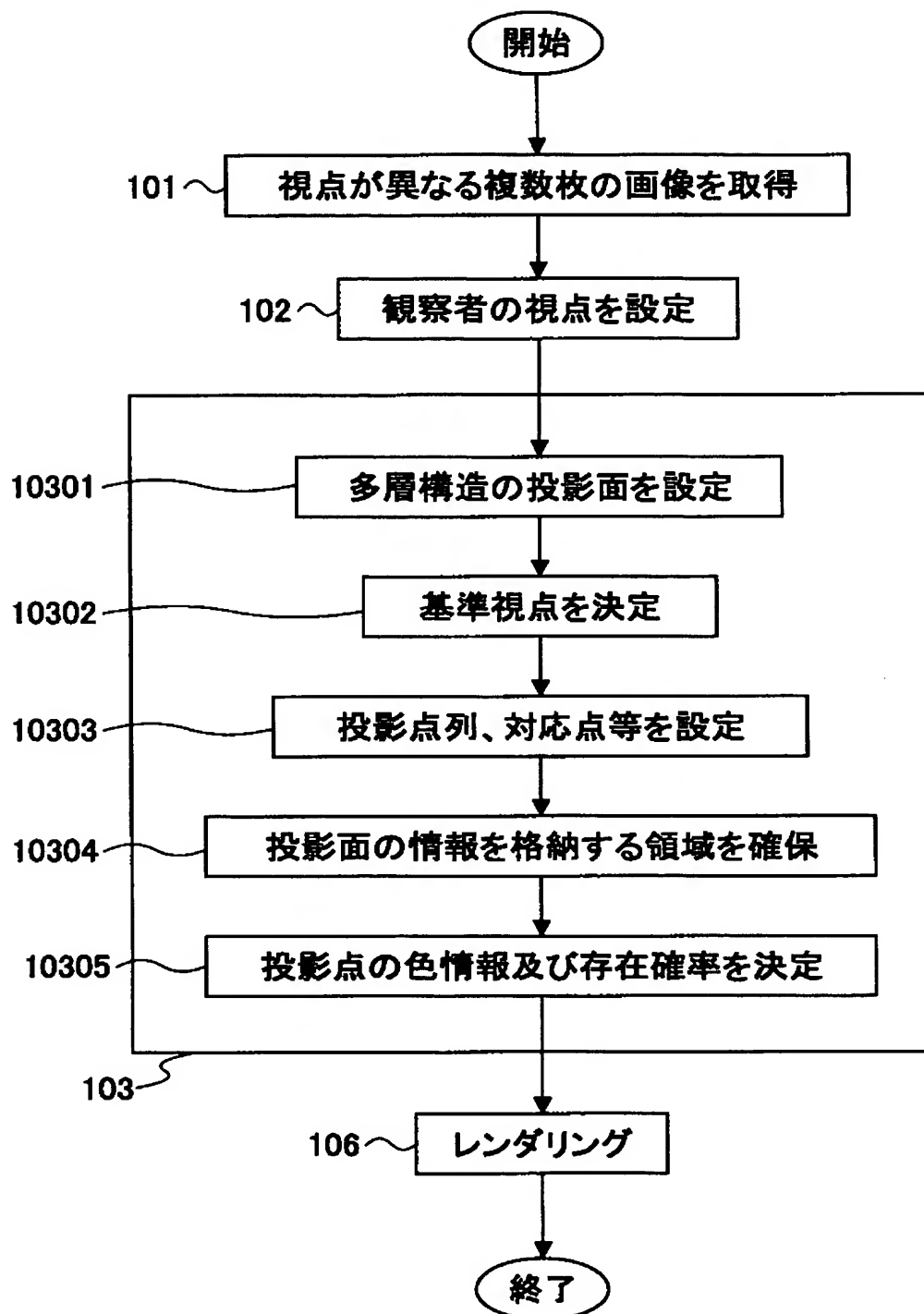
[図80]



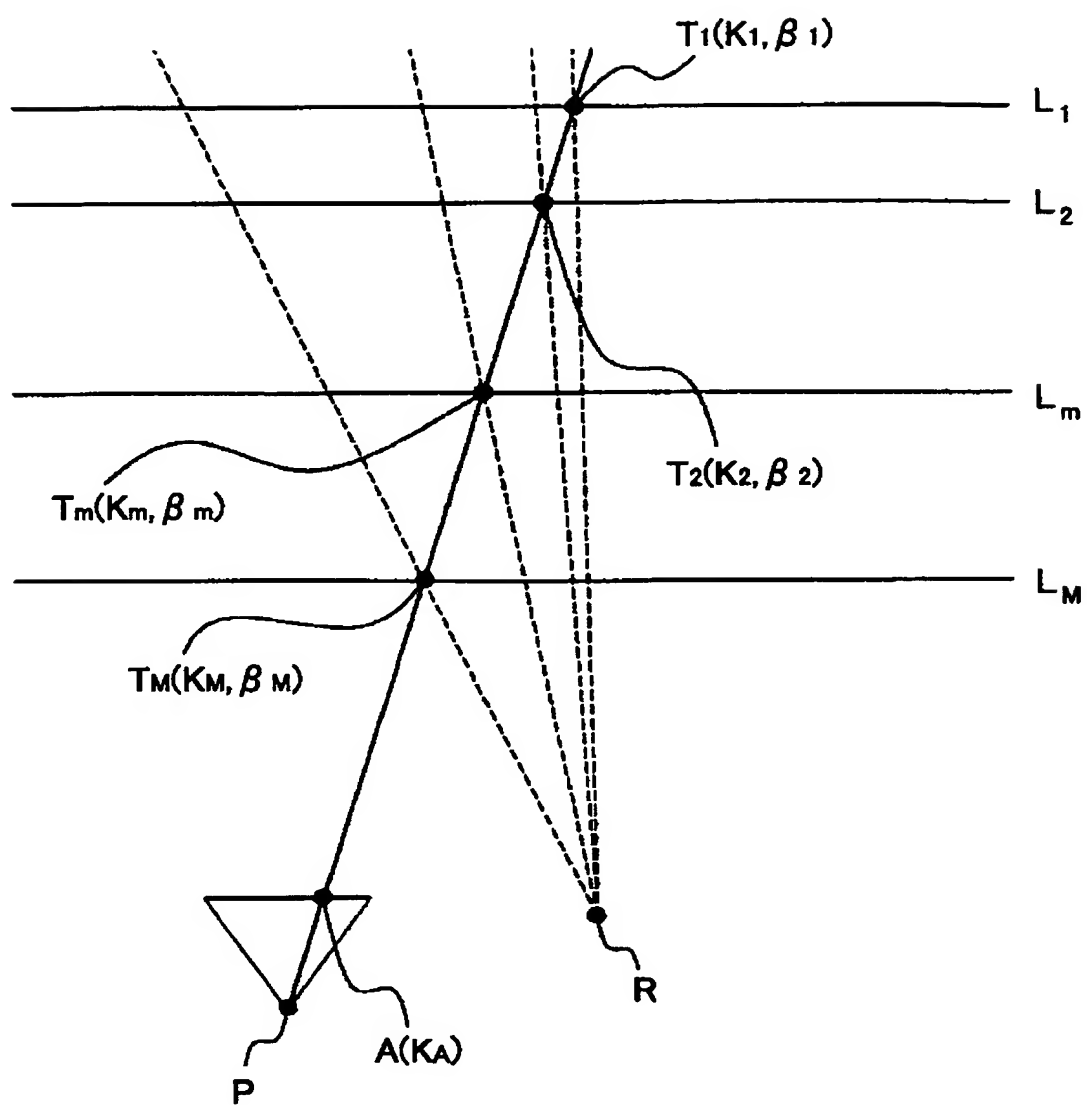
[図81]



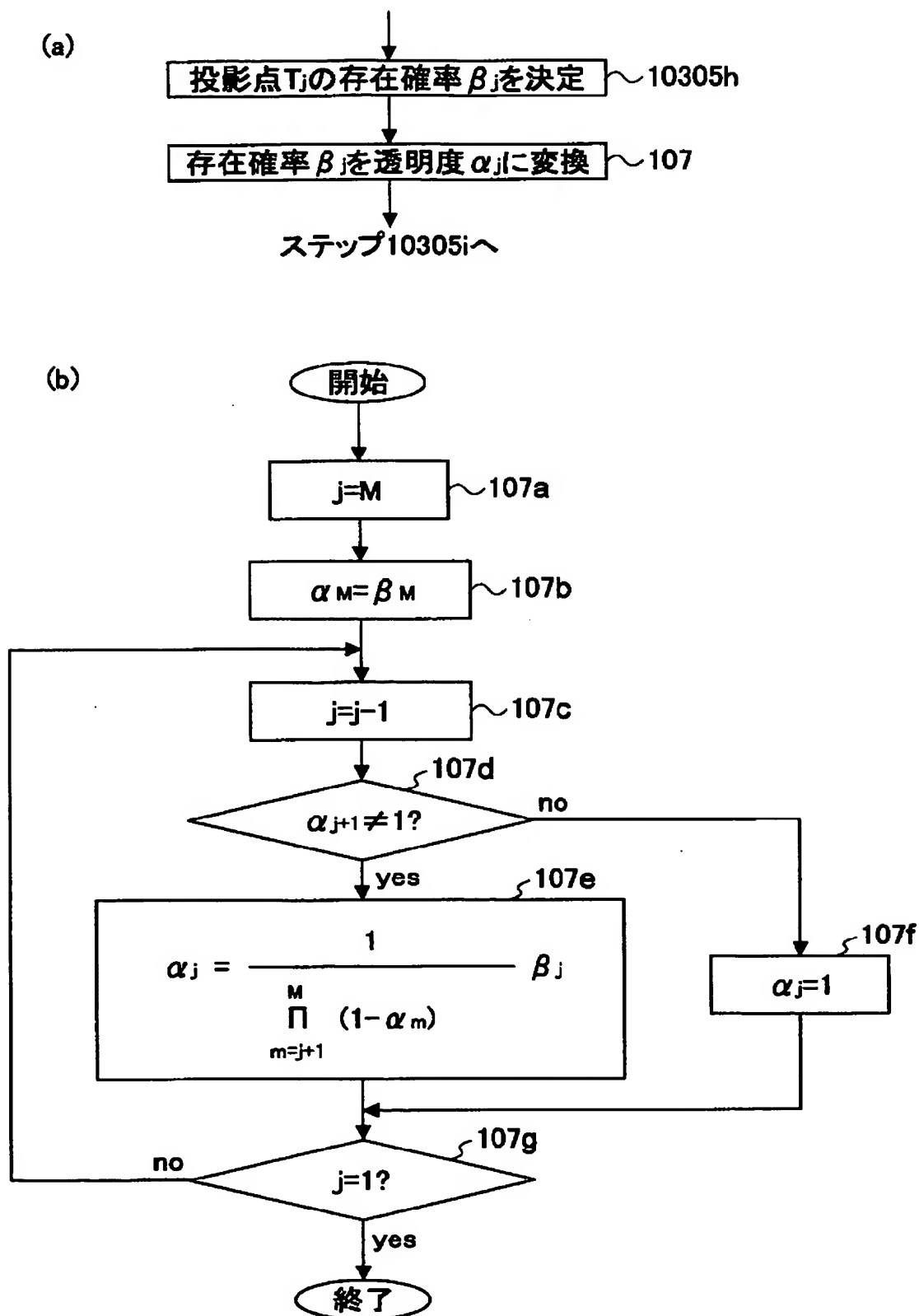
[図82]



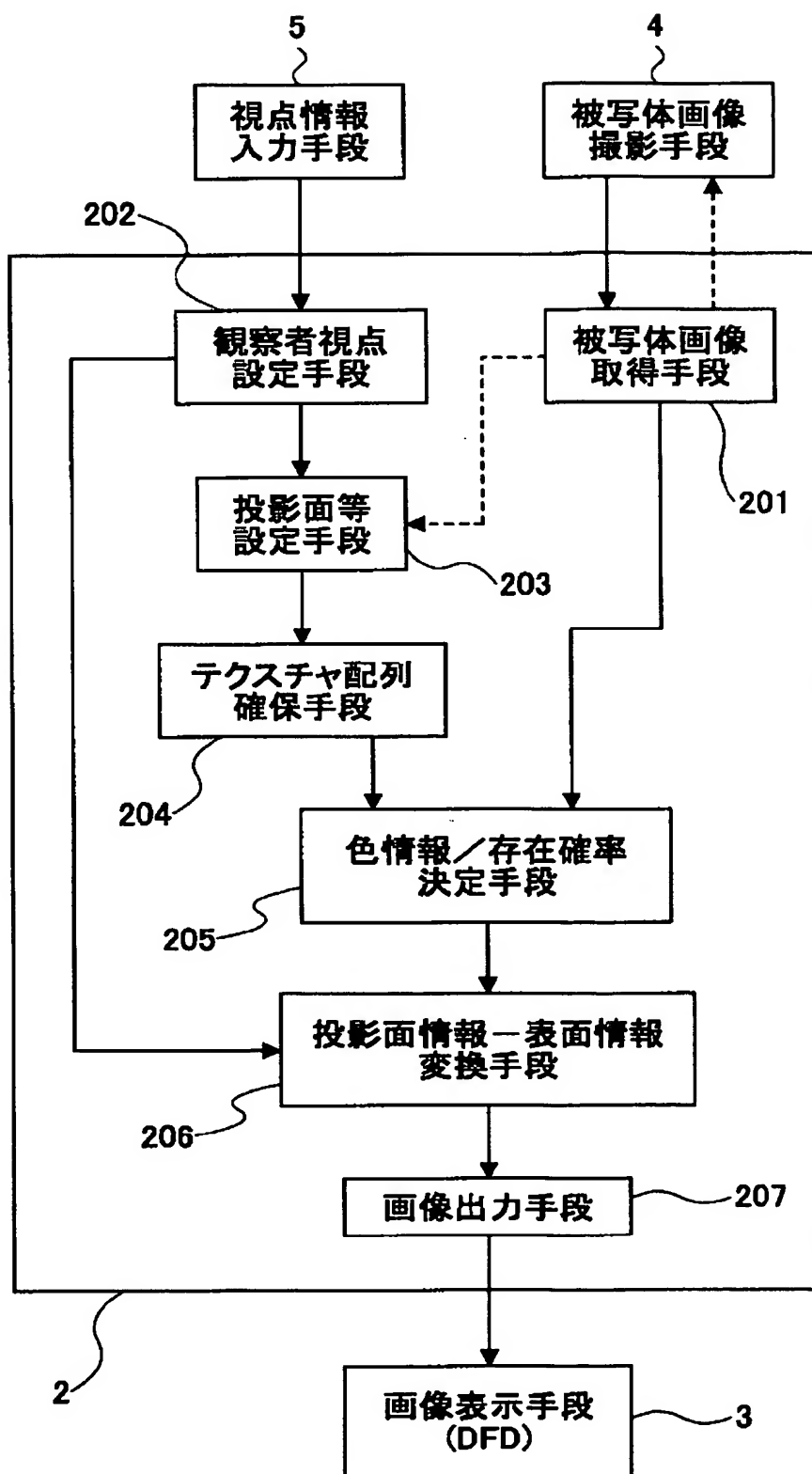
[図83]



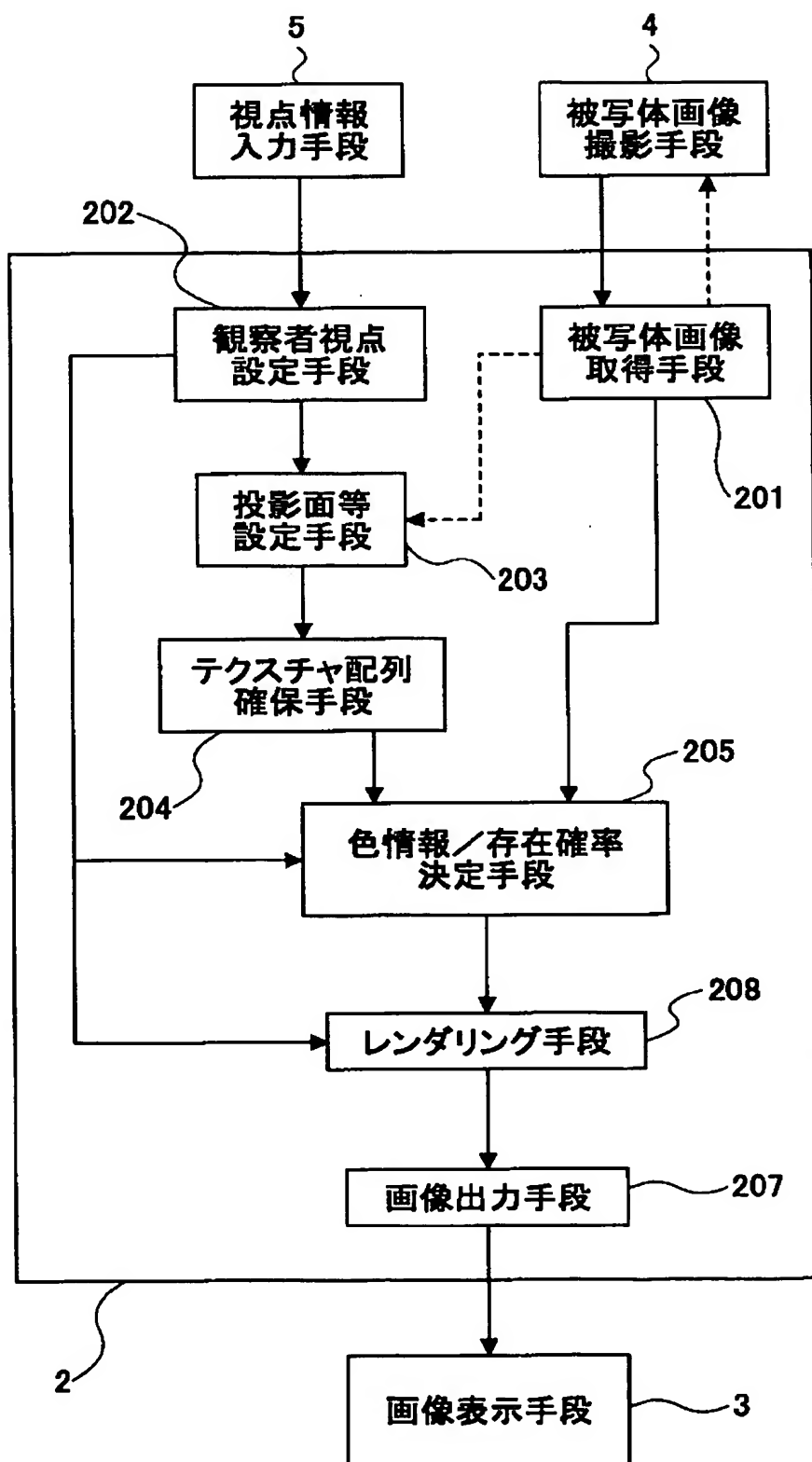
[図84]



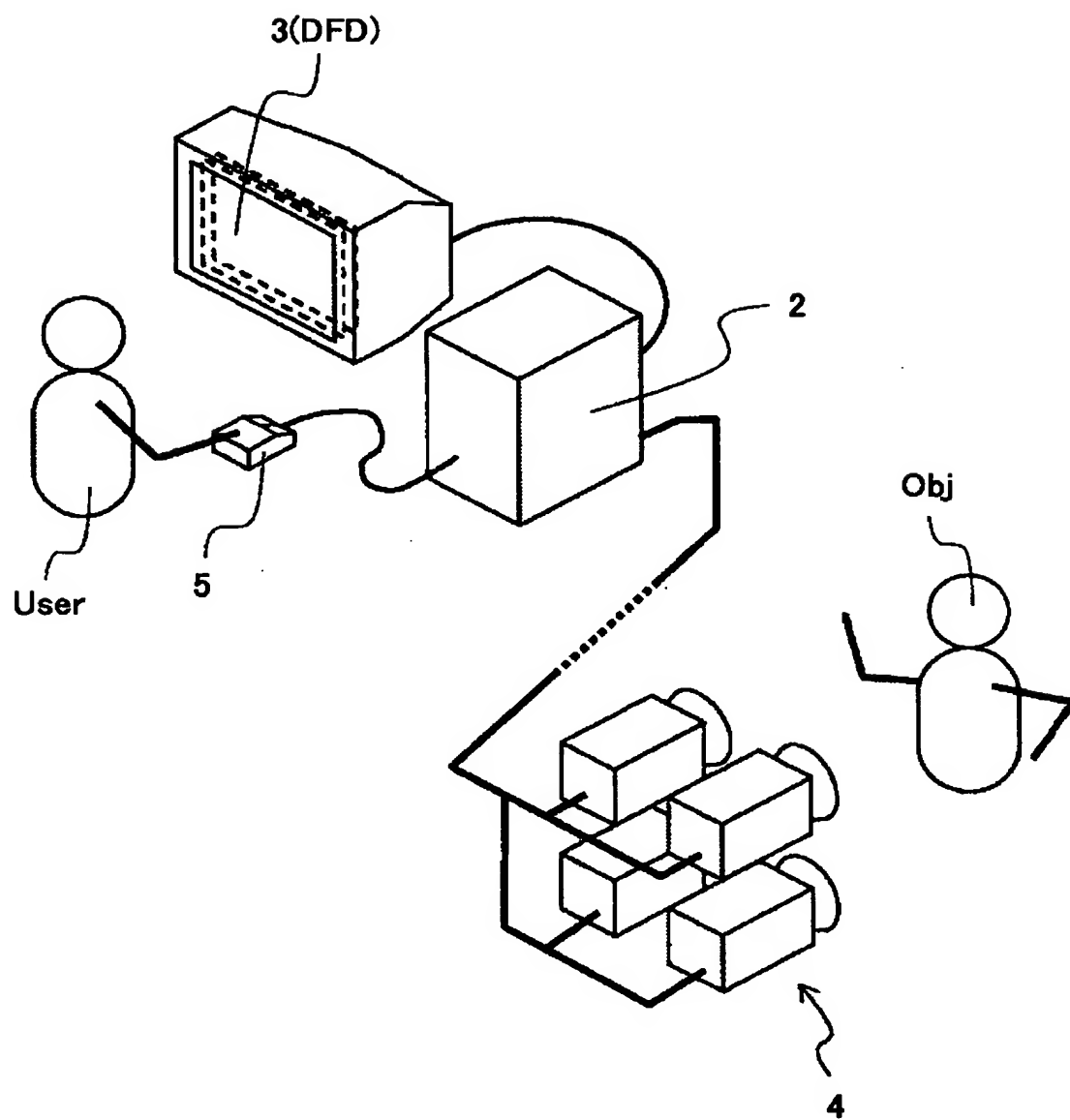
[図85]



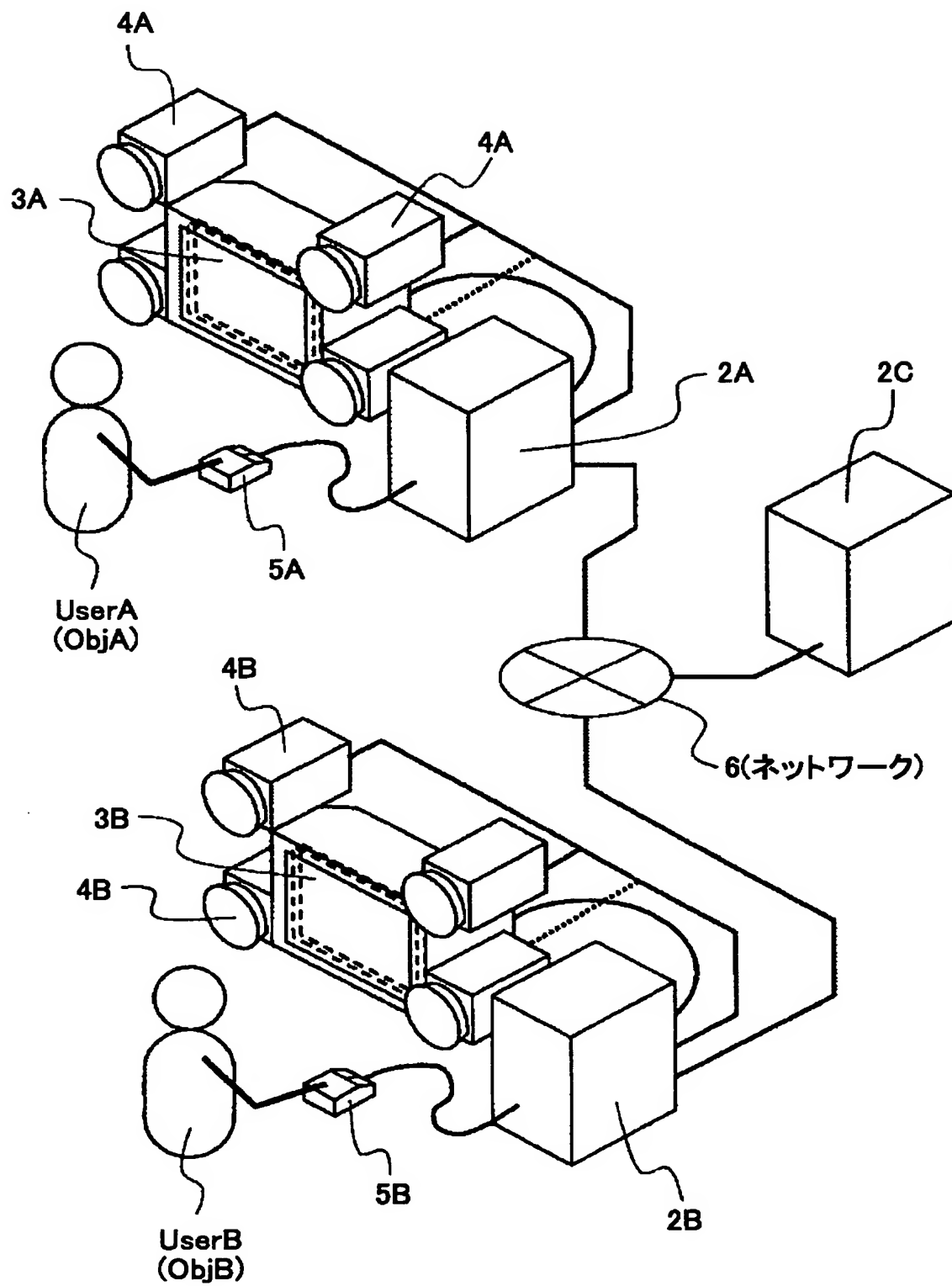
[図86]



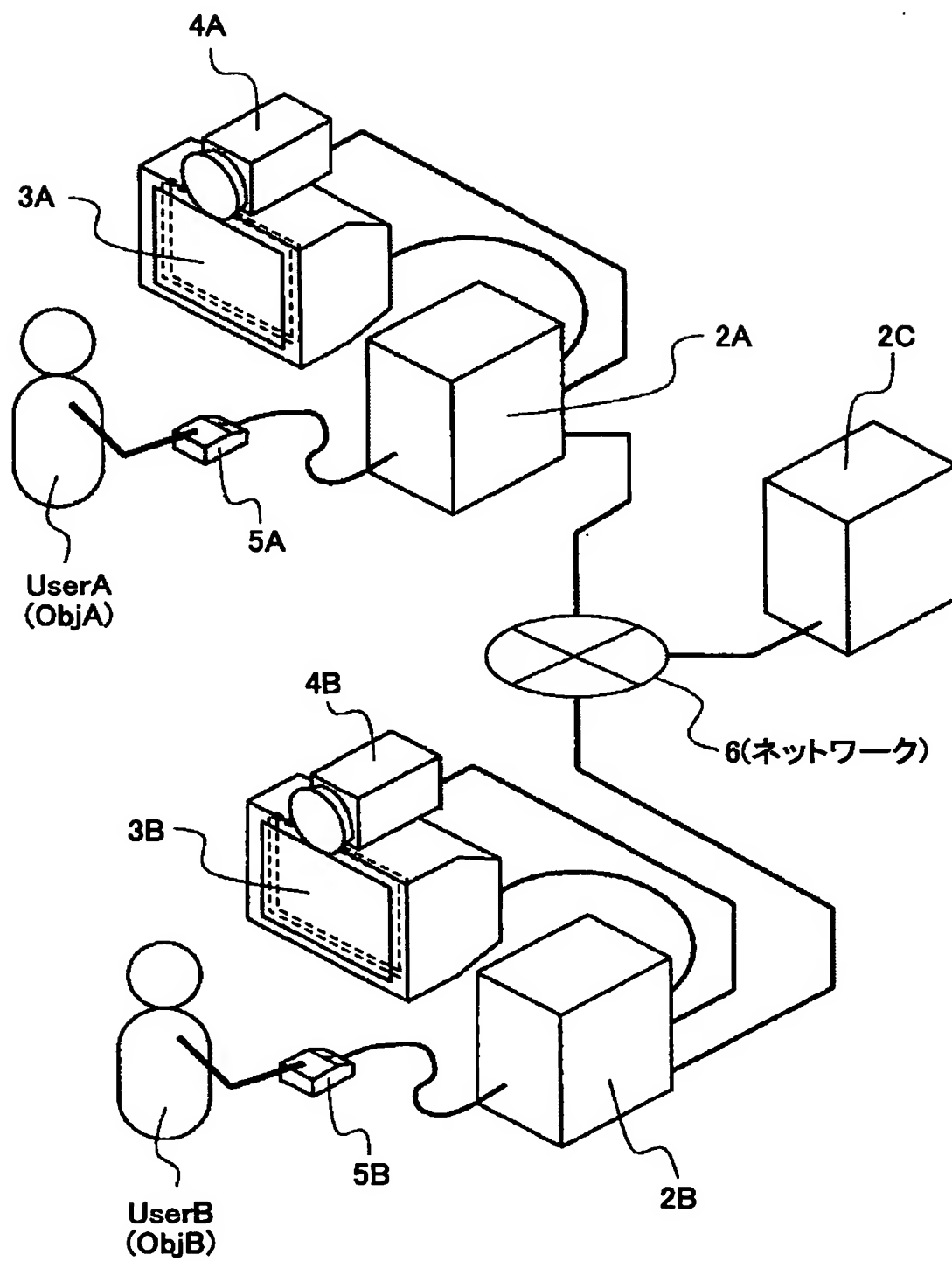
[図87]



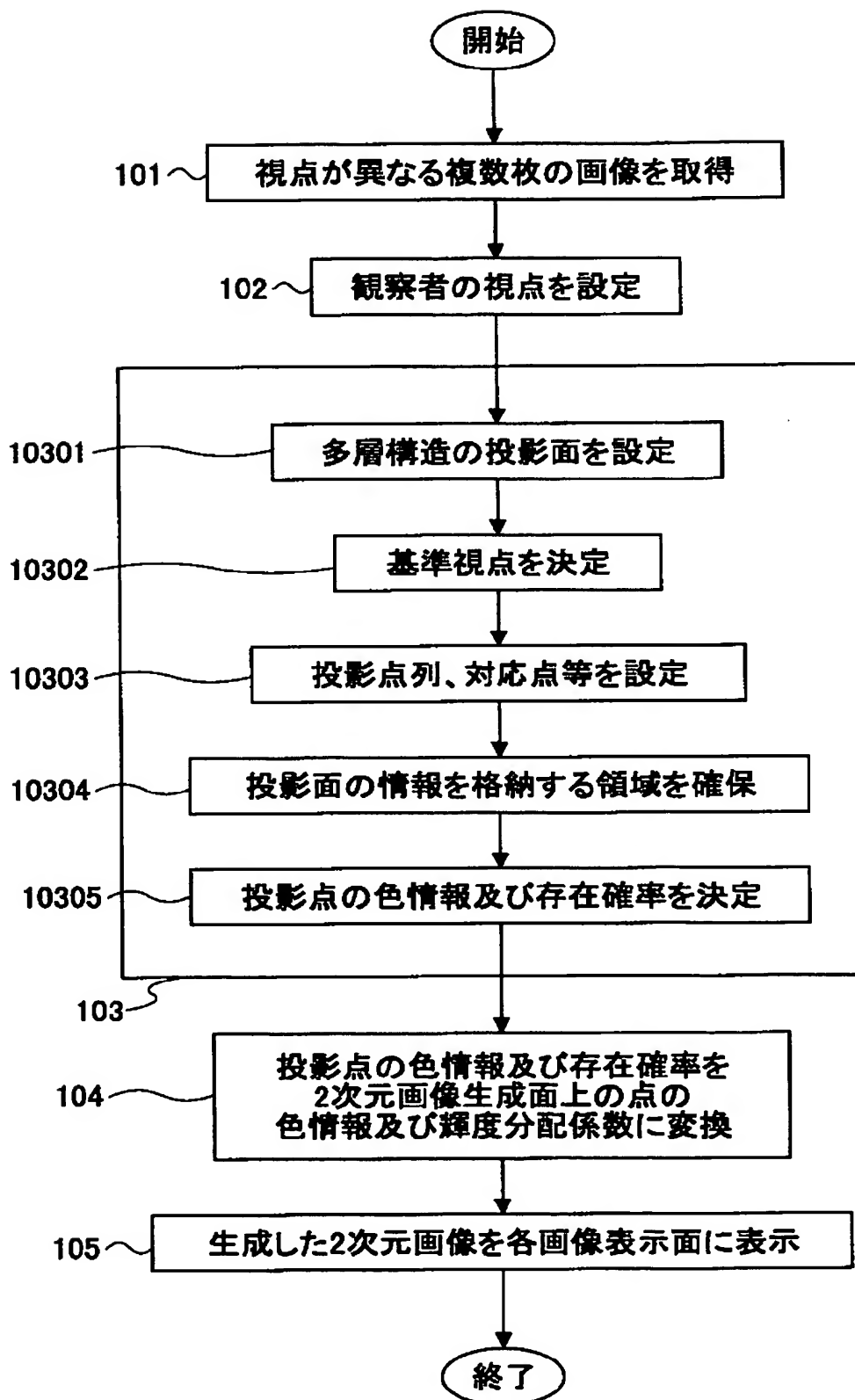
[図88]



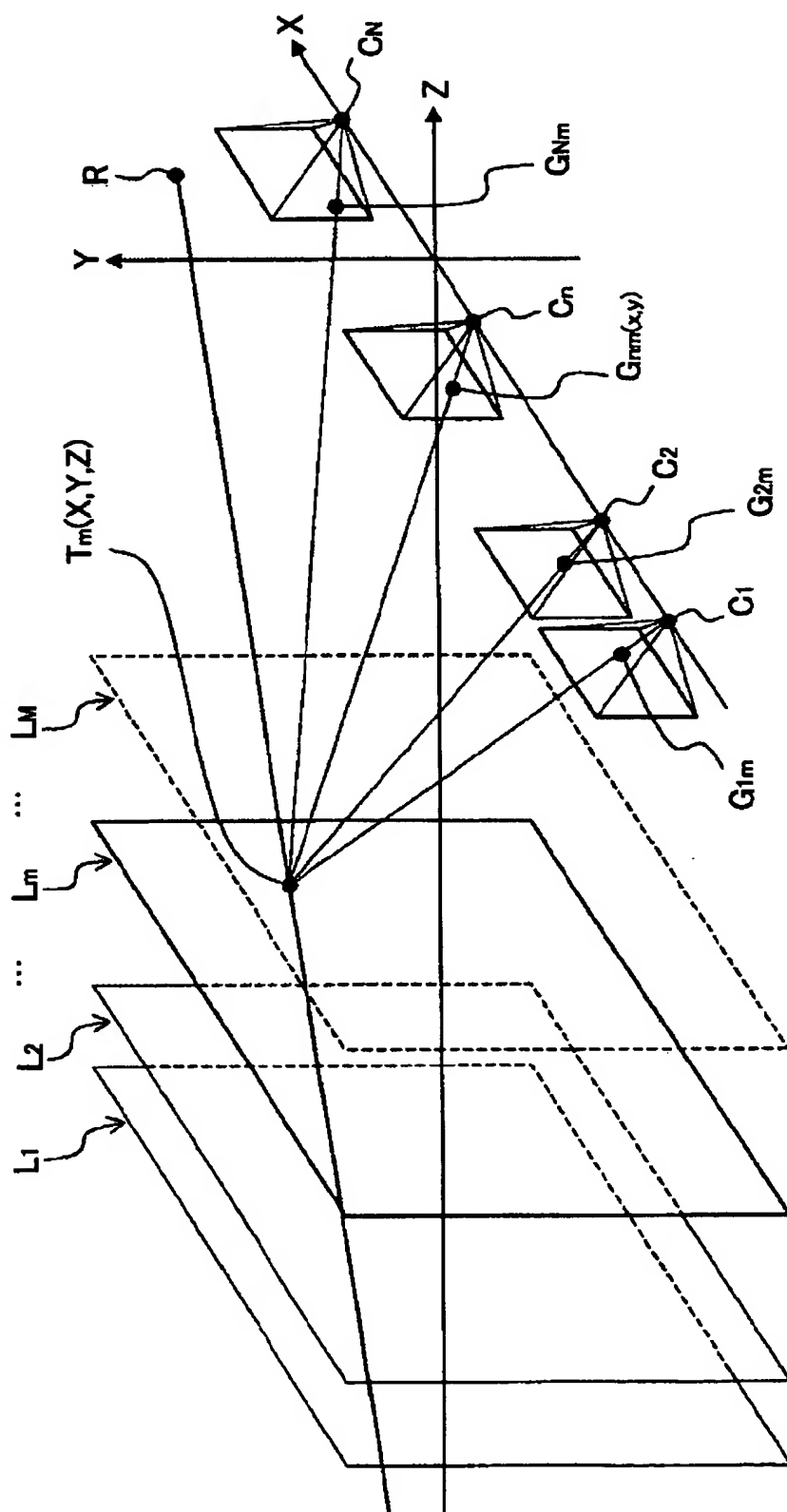
[図89]



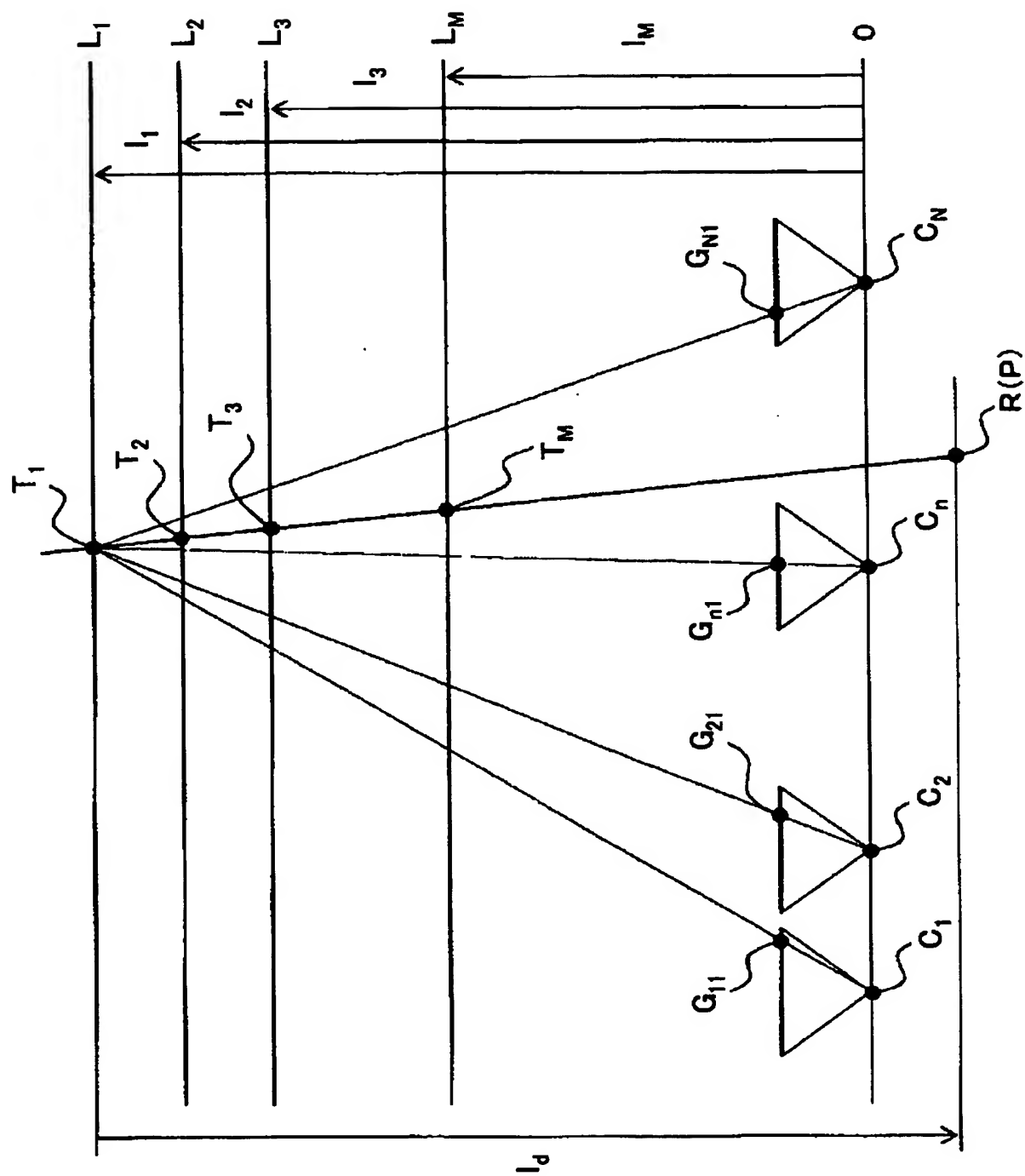
[図90]



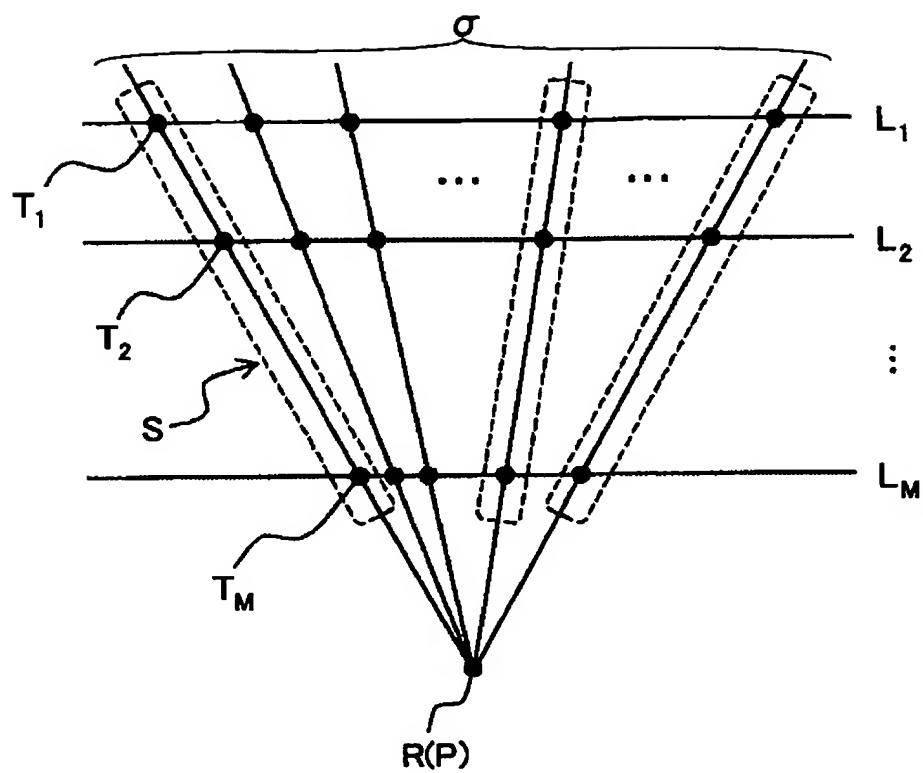
[図91]



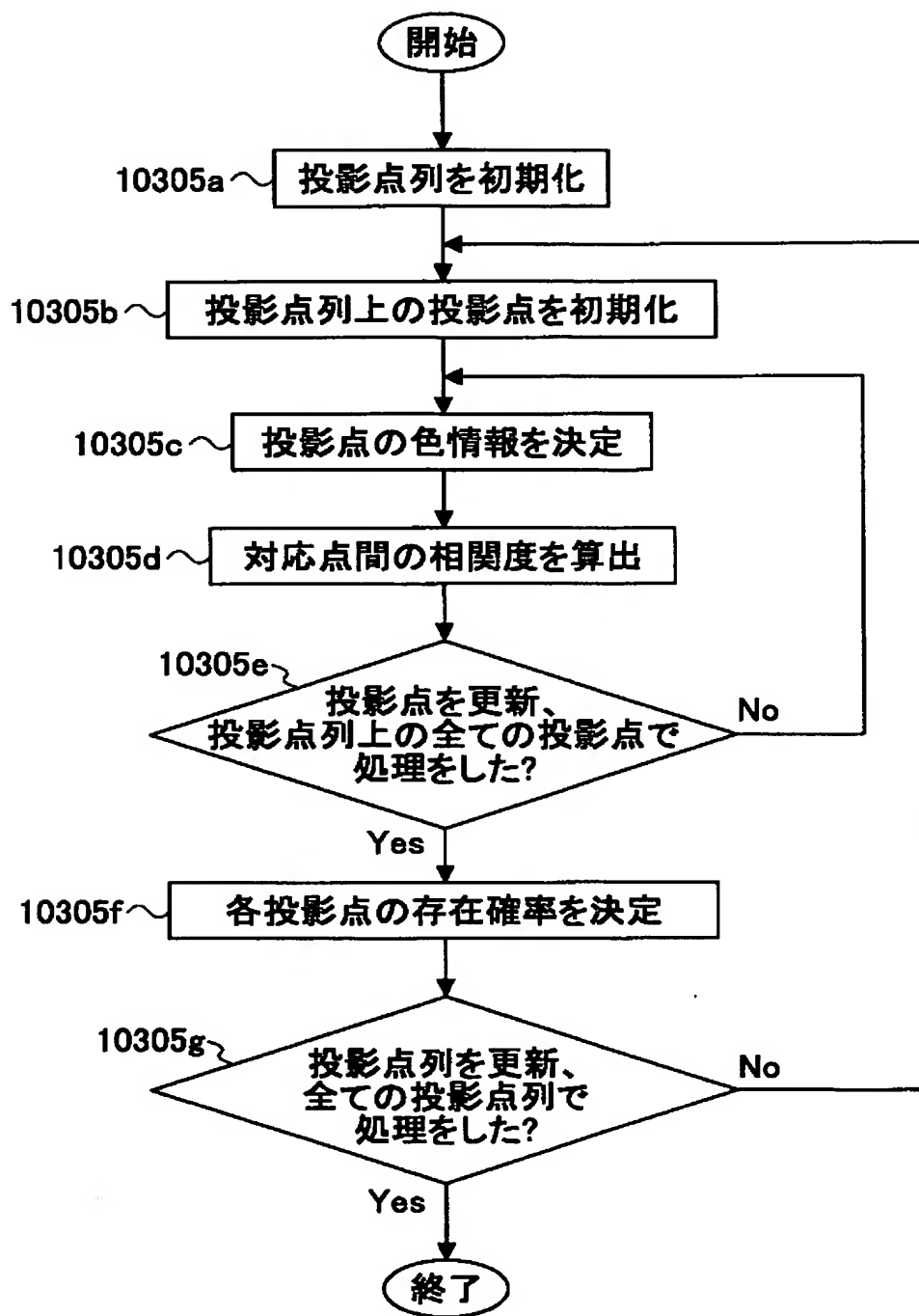
[図92]



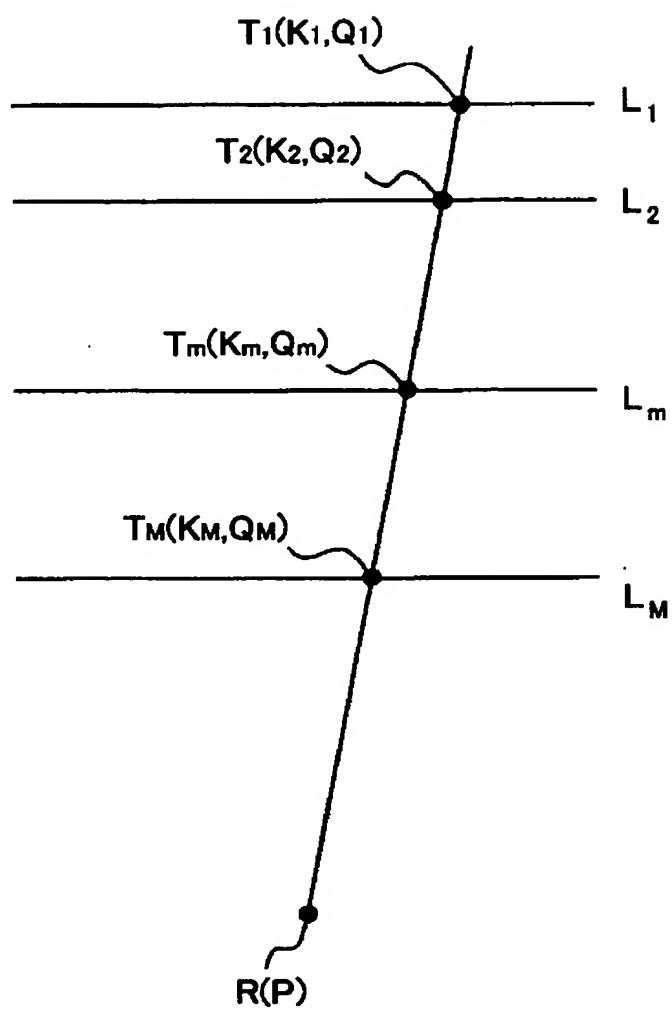
[図93]



[図94]



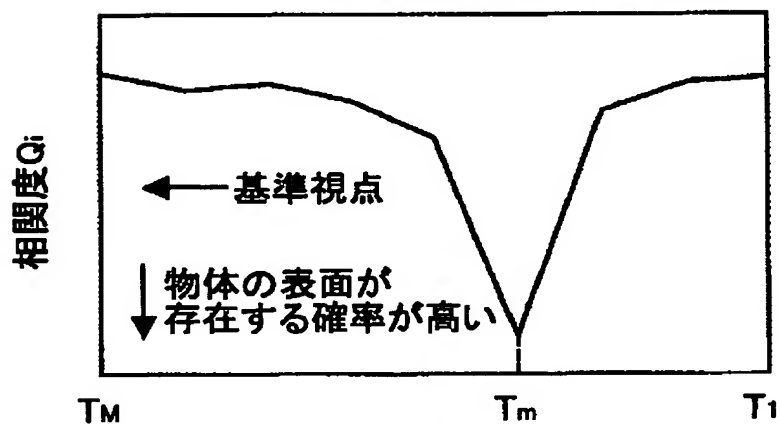
[図95]



[図96]

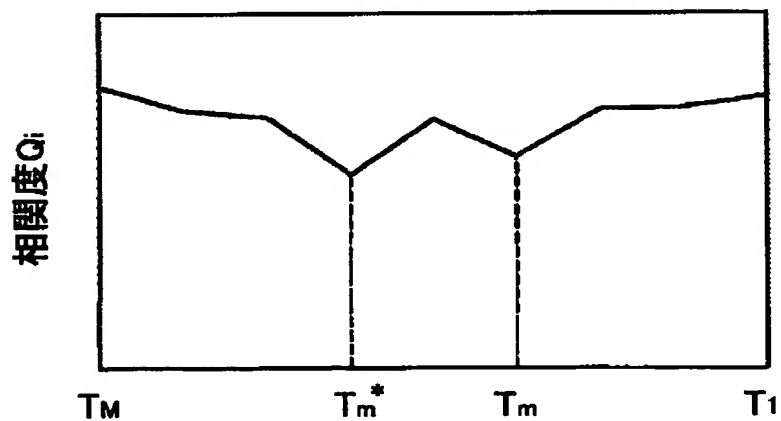
(a)

(推定した距離の信頼性が高い例)

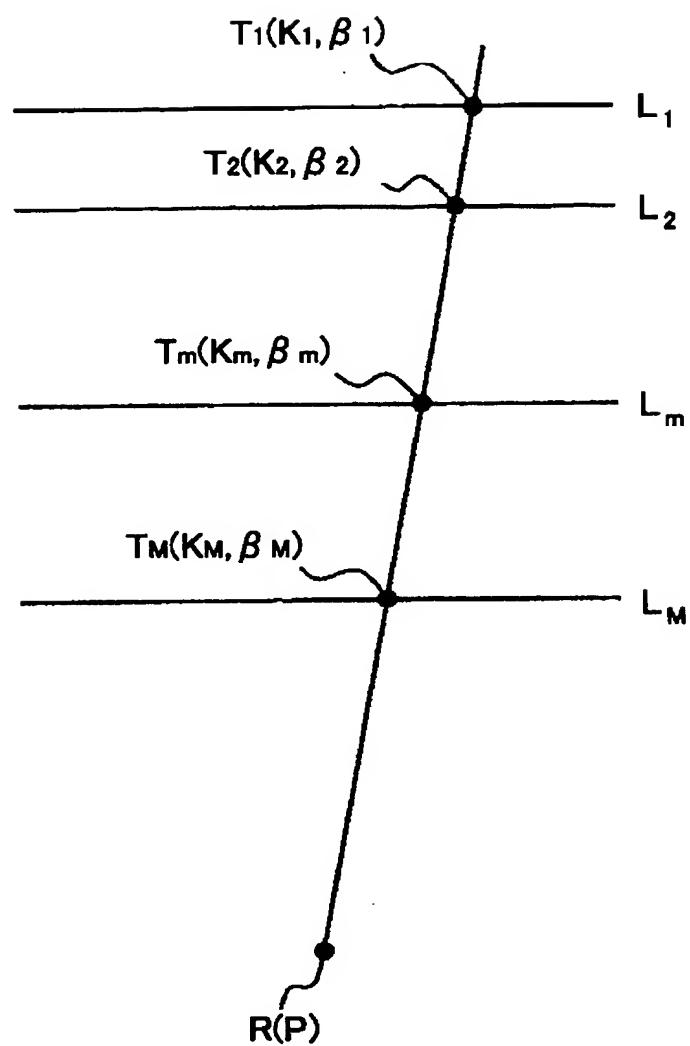
基準視点から見て重なり合う投影点 T_j

(b)

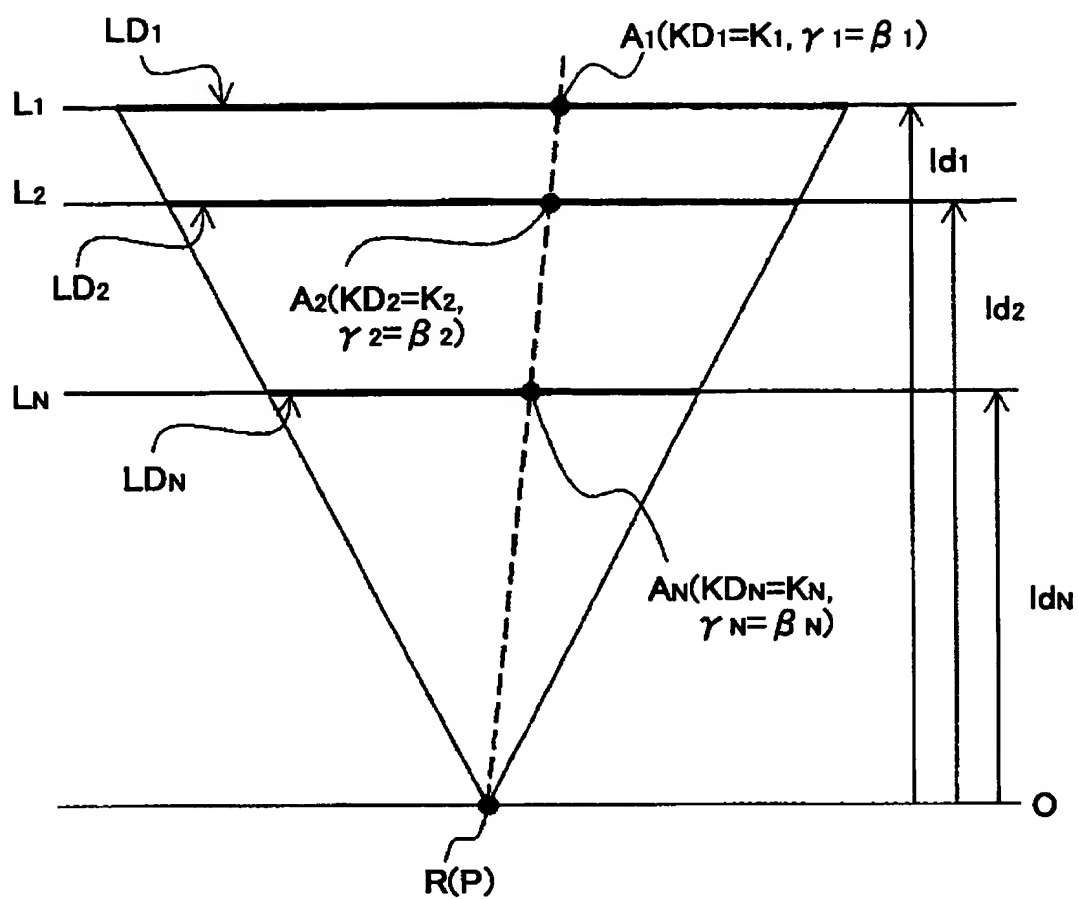
(推定した距離の信頼性が低い例)

基準視点から見て重なり合う投影点 T_j

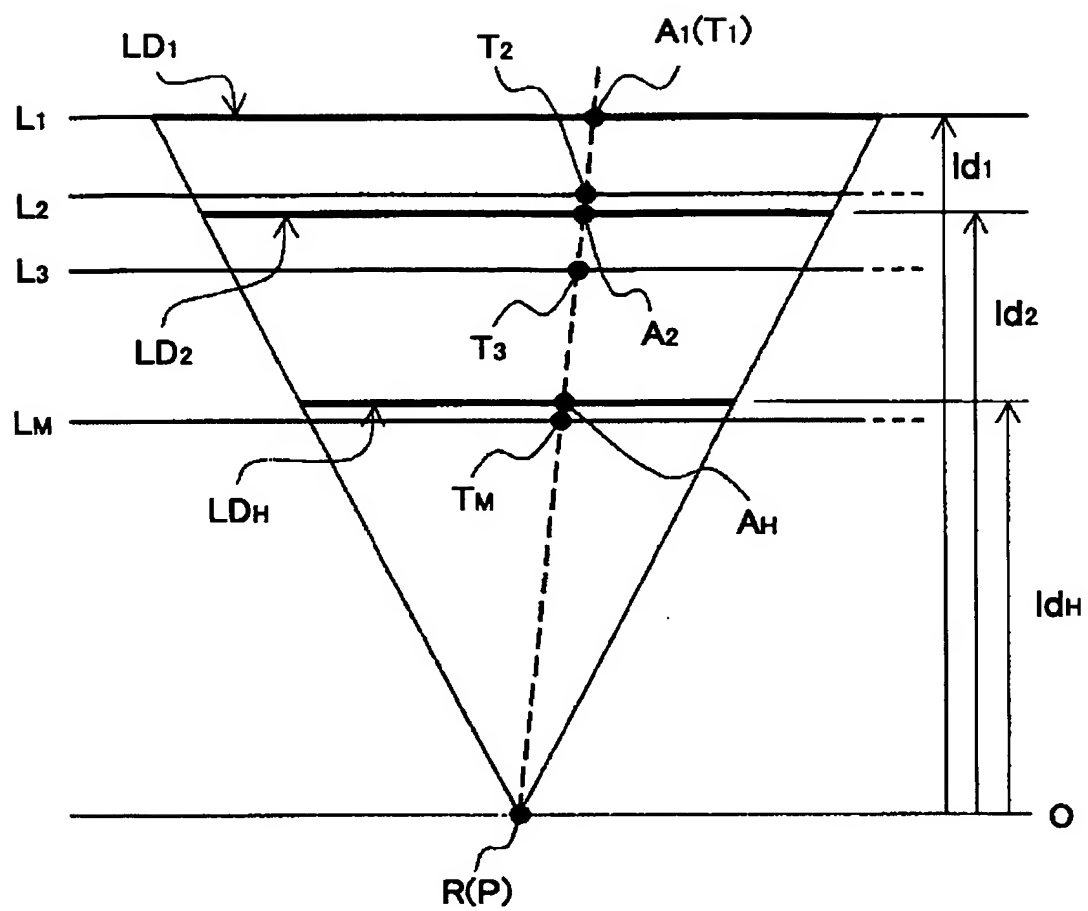
[図97]



[図98]

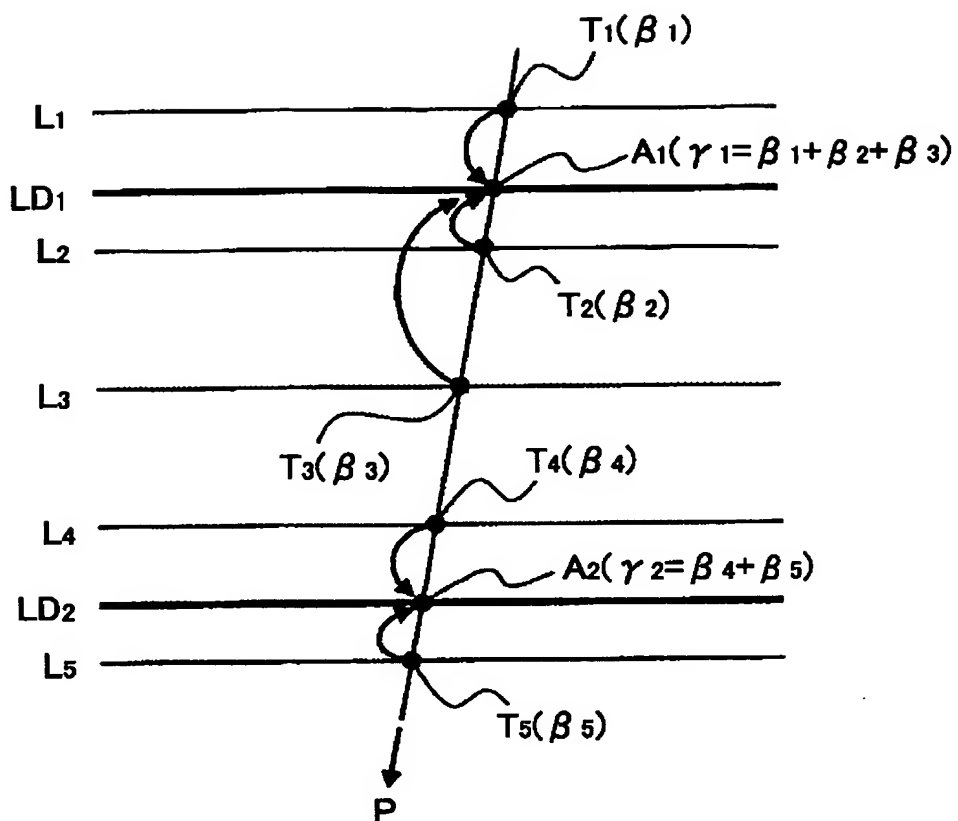


[図99]

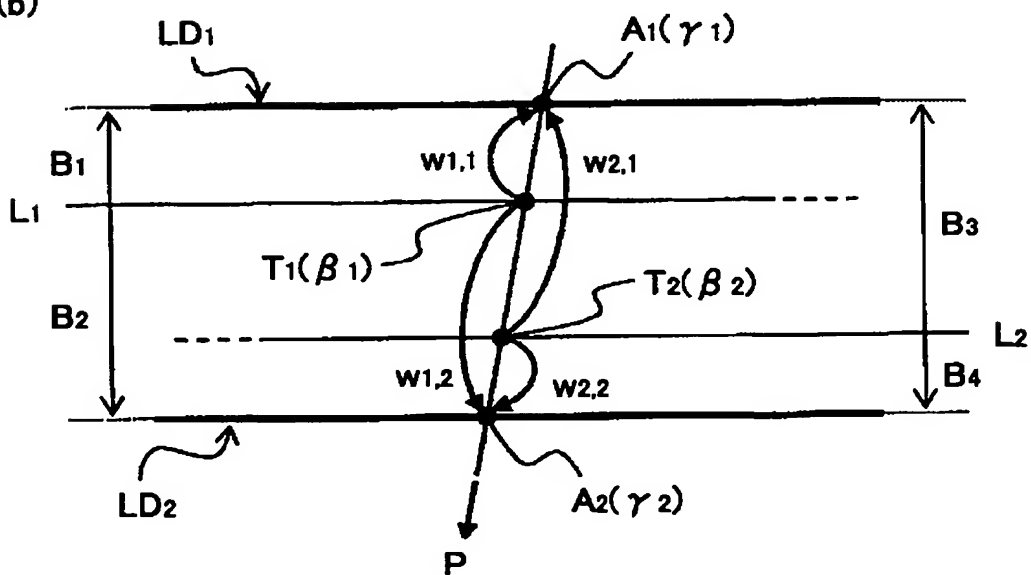


[図100]

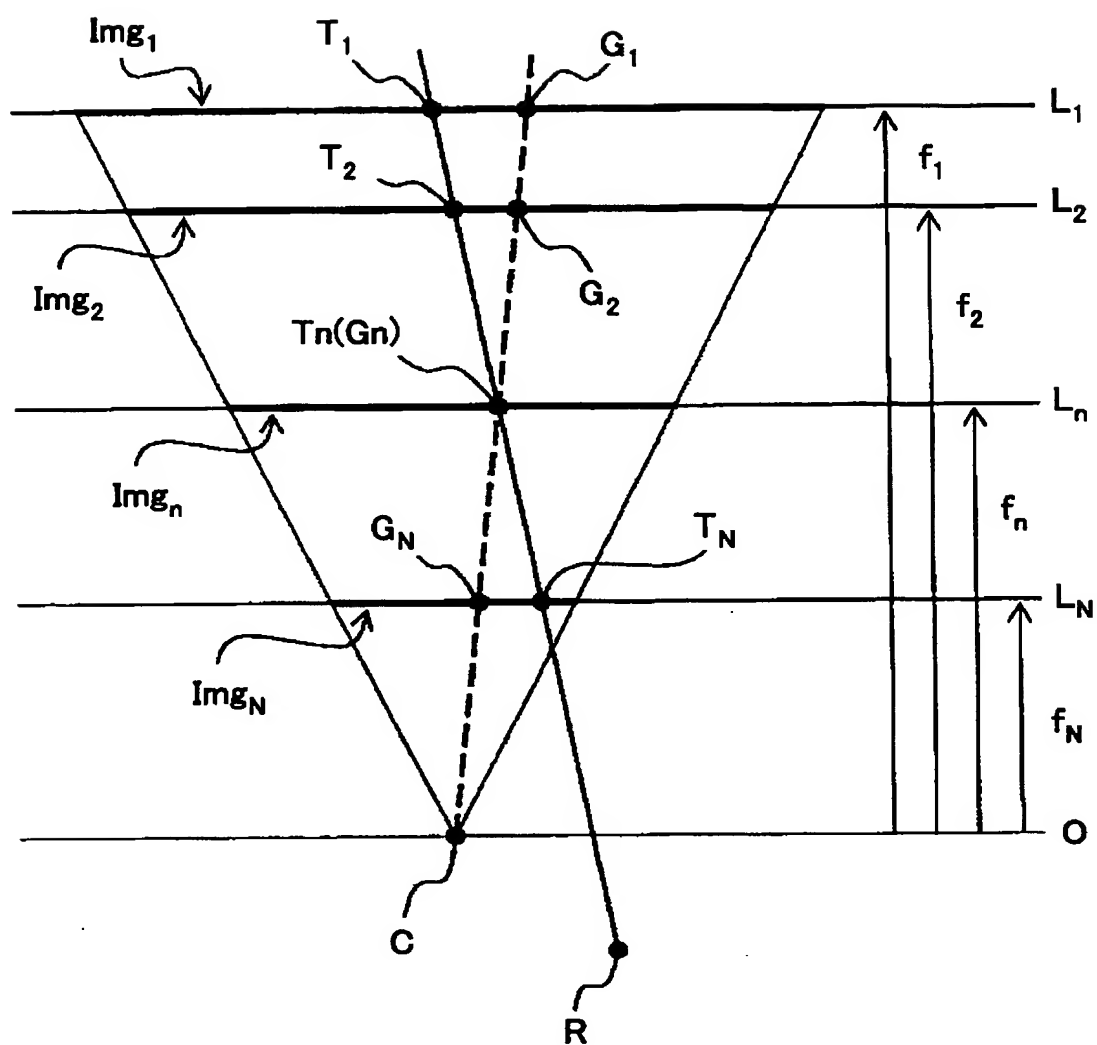
(a)



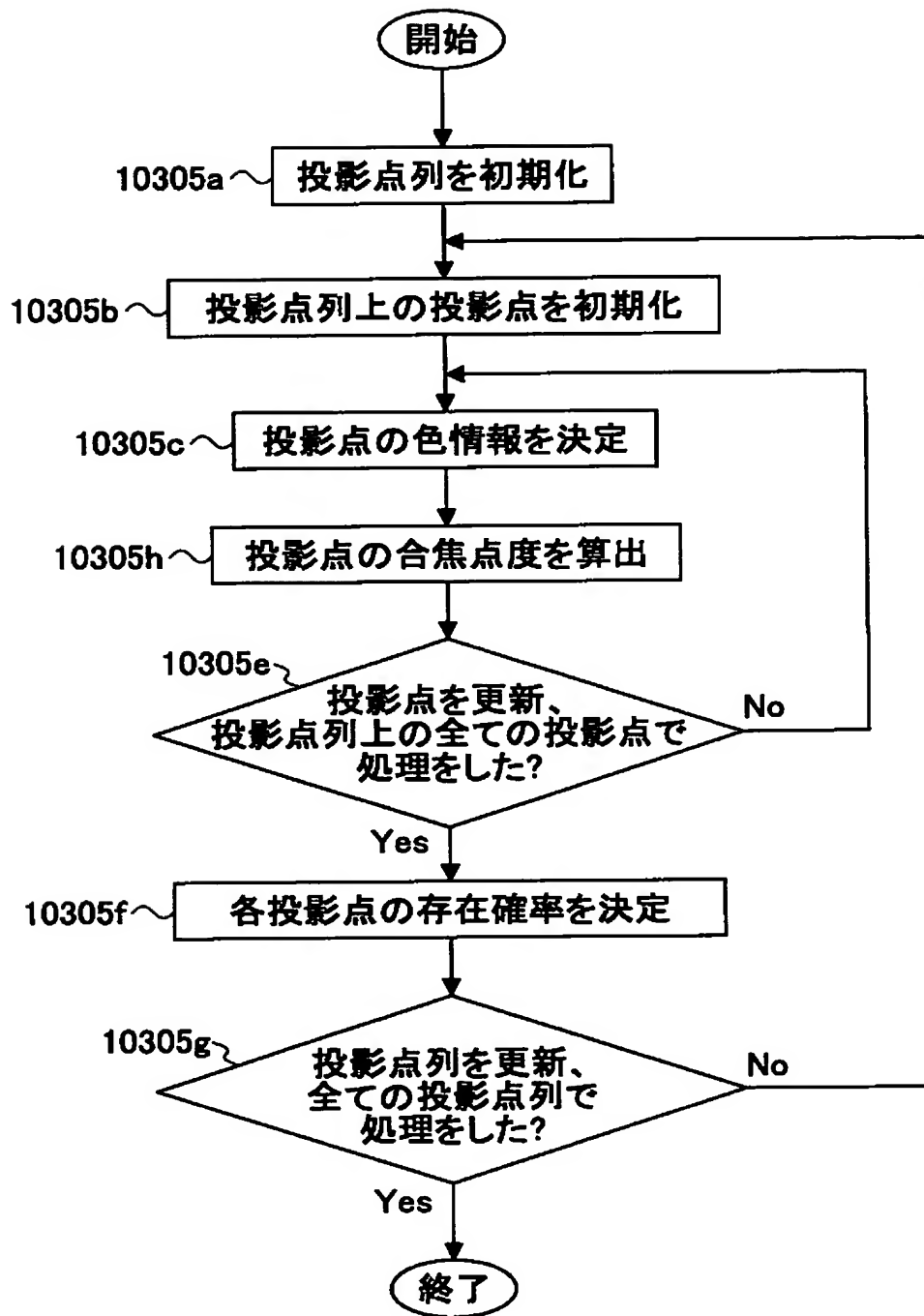
(b)



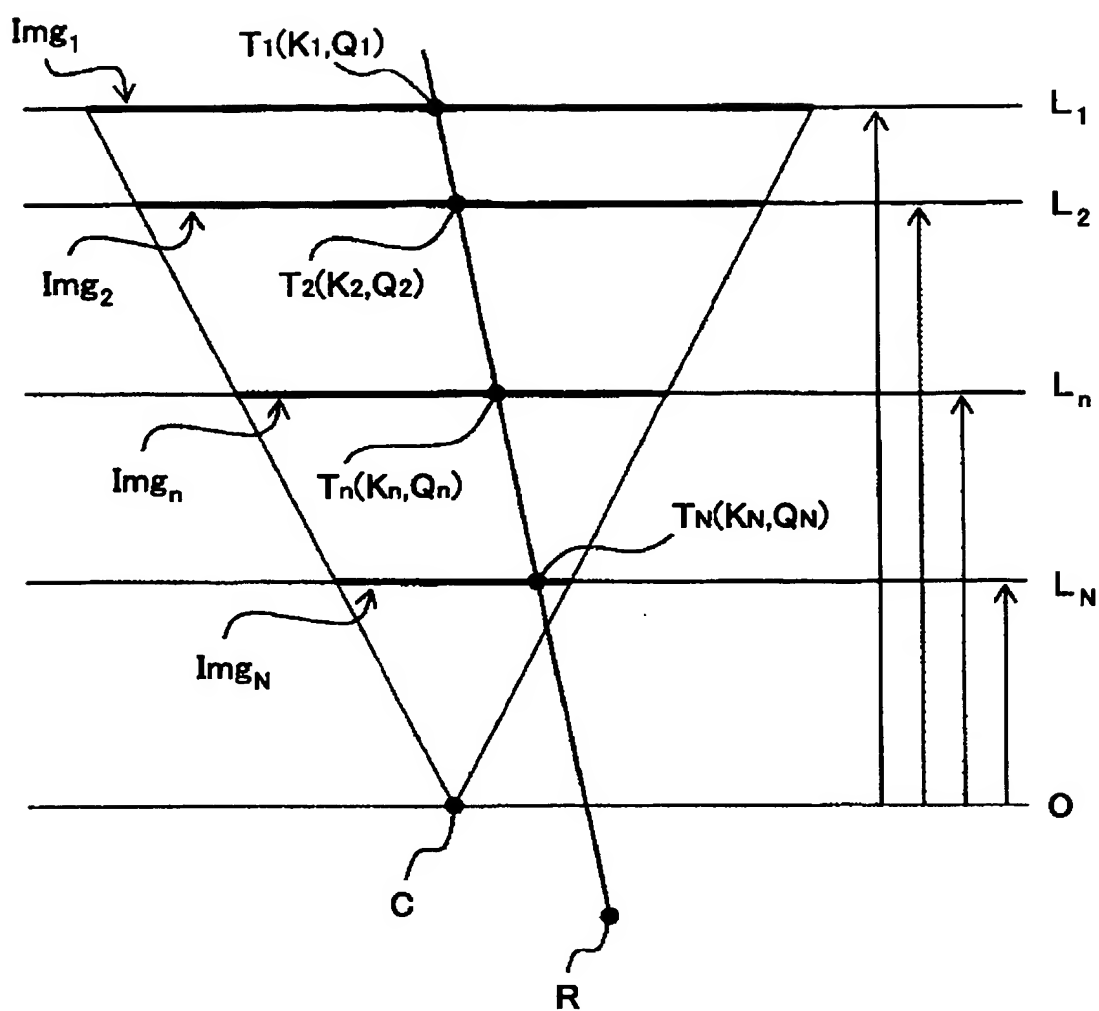
[図101]



[図102]



[図103]



[図104]

